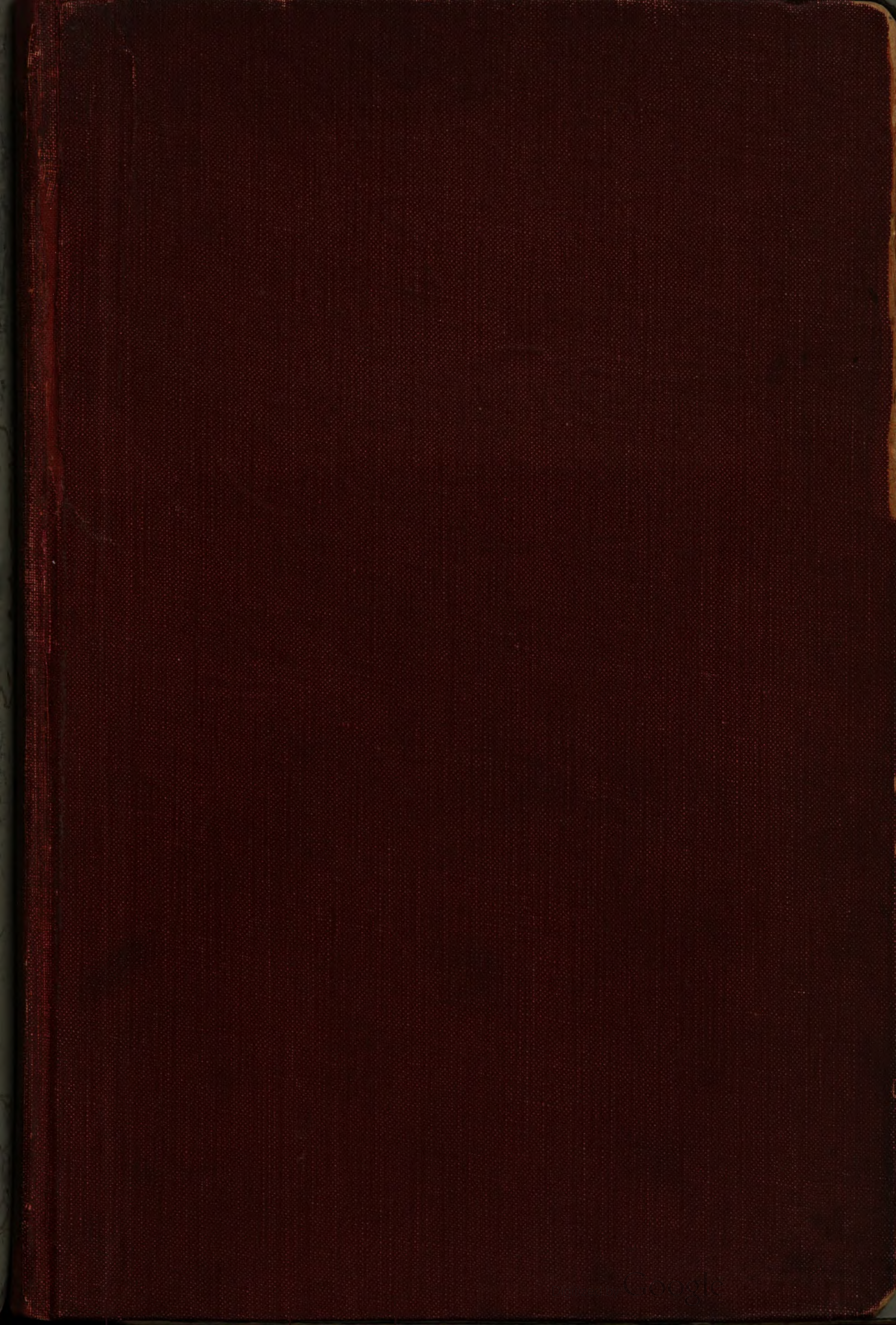
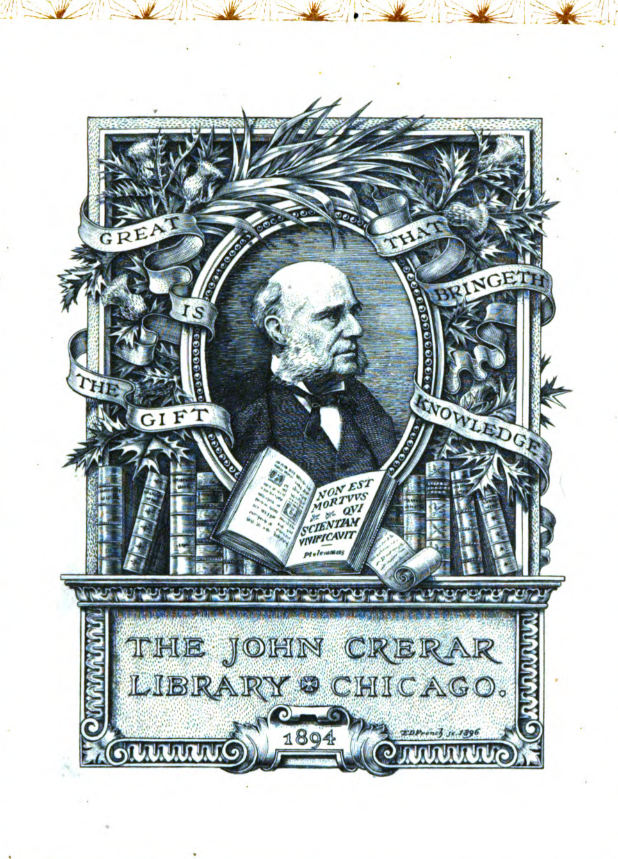
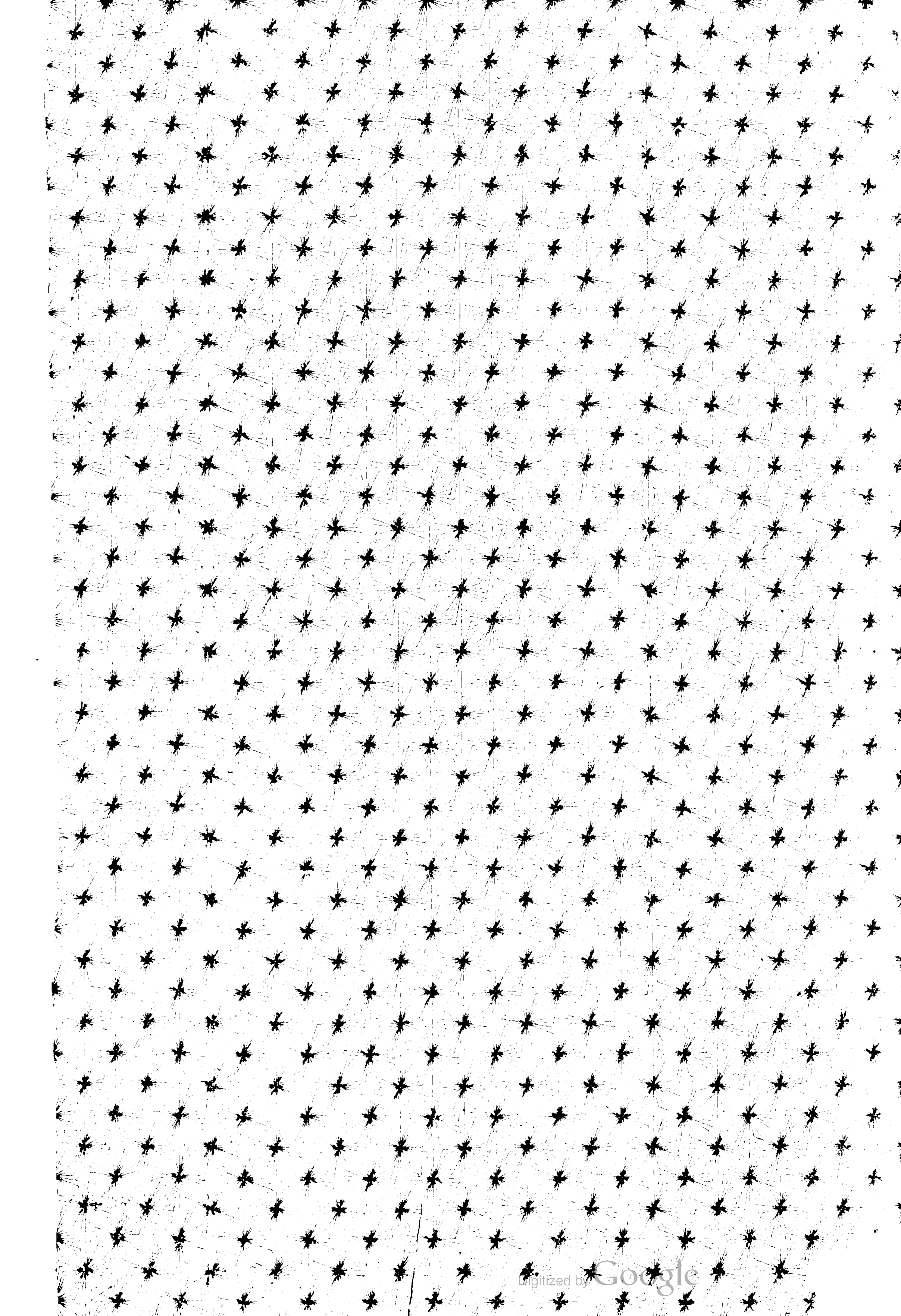





GREAT IS THE GIFT THAT BRINGETH KNOWLEDGE
NON EST MORTVVS QVI SCIENTIAM VIVIFICAVIT
THE JOHN CRERAR LIBRARY ✠ CHICAGO.
1894



DRAHTLOSE TELEGRAPHIE

DURCH

WASSER UND LUFT

NACH VORTRÄGEN GEHALTEN IM WINTER 1900

VON

PROF. DR. FERDINAND BRAUN

DIREKTOR DES PHYSIKALISCHEN INSTITUTS DER UNIVERSITÄT STRASSBURG

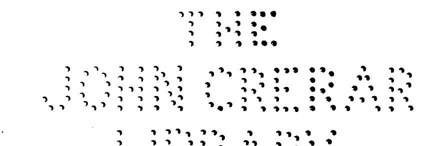
MIT ZAHLREICHEN FIGUREN UND ABBILDUNGEN



LEIPZIG

VERLAG VON VEIT & COMP.

1901



DRAHTLOSE TELEGRAPHIE

DURCH

WASSER UND LUFT

NACH VORTRÄGEN GEHALTEN IM WINTER 1900

VON

PROF. DR. FERDINAND BRAUN

DIREKTOR DES PHYSIKALISCHEN INSTITUTS DER UNIVERSITÄT STRASSBURG

MIT ZAHLREICHEN FIGUREN UND ABBILDUNGEN



LEIPZIG

VERLAG VON VEIT & COMP.

1901

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Inhalt.

8

Geschichtliche Einleitung.

Die Bestrebungen nach einer drahtlosen Telegraphie sind nicht viel jünger als die Erfindung der praktisch verwerthbaren Drahttelegraphie selber. In der That: im Jahre 1833 hatten GAUSS und WEBER mittels zweier Drähte, die über die Häuser der Stadt isolirt hinweggeführt waren, die Sternwarte bei Göttingen mit dem Physikalischen Institut verbunden und damit die erste telegraphische Anlage, mittels deren Zeichen, Wörter und Sätze übermittelt wurden, geschaffen. Mit dem Jahre 1835 beginnen die Bemühungen des amerikanischen Malers MORSE, welche im Mai 1844 zu einer Versuchslinie zwischen Washington und Baltimore führten. Aber kaum, dass man eine Uebertragung mittels des Drahtes geschaffen hatte, suchte man sich desselben auch schon wieder zu entledigen. STEINHEIL fand 1838, dass man den rückleitenden Draht durch die Erde ersetzen könne. Vielleicht hat diese Thatsache die Anregung zu den weiter gehenden Vorschlägen gegeben, nach denen auch die Hinleitung mittels der Erde oder des Wassers besorgt werden sollte. Ohne auf die älteren, mehr oder weniger phantasie- und hoffnungsvollen Projecte dieser Art eingehen zu wollen, seien hier nur die Versuche von

RATHENAU am Wannsee (1894) und die analogen von STRECKER aus dem Jahre 1895 erwähnt. Sie leiteten an einer Stelle mittels zweier Platten Strom in den See oder das Grundwasser hinein; derselbe gleicht sich zum grossen Theil zwischen den Platten aus, Zweigströme aber durchfliessen auch, in mit der Entfernung abnehmender Stärke, die Wassermasse. Diese letzteren werden an der empfangenden Station wiederum mittels zweier eingesenkter Platten aus dem Wasser herausgenommen. Wir werden auf diese Versuche zurückkommen.

Ein Vorschlag anderer Art ging von WILKINGS 1849 aus. Er glaubte, die englische und französische Küste ohne überbrückenden Draht verbinden zu können, wenn auf beiden Ufern eine 10 bis 20 Meilen lange Drahtleitung gezogen würde, parallel und möglichst nahe zum Ufer; Anfang und Ende der Leitung sollten zur Erde gehen; in die eine Leitung sollte eine kräftige galvanische Batterie eingeschaltet sein; in der anderen sollten sich empfindliche, stromanzeigende Apparate befinden. Ein Strom in der ersten Leitung würde sich an den Apparaten der zweiten bemerkbar machen. Von Interesse ist dabei, dass die von ihm vorgeschlagenen Stromanzeiger den späteren THOMSON'schen Syphon-Recorder bezw. die heute gebräuchlichen DEPREZ-D'ARSONVAL'schen Instrumente anticipiren.

Es ist dies wesentlich die gleiche Anordnung, welche in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts vom Chefingenieur der englischen Post, Sir WILLIAM PREECE (s. Electrotechn. Zeitschrift XV. 1894. S. 532), wieder aufgenommen und zu praktischen Erfolgen gebracht wurde. Ein Strom, der im ersten Kreise geschlossen wird, inducirt im Empfängerkreis einen Strom-

stoss. Es wurde damit (1893) bis auf 8 Kilometer telegraphische Verständigung unter verschiedenen Verhältnissen erzielt.

Die PREECE'schen Versuche haben unzweifelhaft eine grosse Anregung auf diesem Gebiete zur Folge gehabt. —

Ein Jahr vorher hatte EDISON vorgeschlagen, eine am oberen Ende eines langen Verticaldrahtes angebrachte Platte durch einen Inductor electrostatisch zu laden; sie sollte den Geber darstellen und auf eine entfernte zweite, ähnlich angebrachte Platte, den Empfänger, durch electrostatische Influenz wirken. Beide Platten sind mit der Erde verbunden; die Geberplatte durch die Windungen des Inductors hindurch, die Empfängerplatte direct; auf dem Wege zur Erde wirkt die den Empfängerdraht durchfliessende Electricität mittels Induction auf den Empfängerapparat.

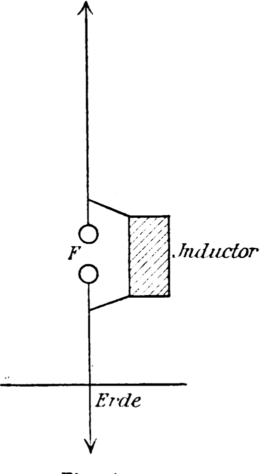


Fig. 1.

Rein äusserlich genommen unterscheidet sich diese Anordnung nicht viel von derjenigen MARCONI's (Fig. 1). Bei MARCONI ladet der Inductionsapparat den verticalen Sender; dieser entladet sich aber durch die Funkenstrecke F gegen die Erde. Im ähnlich gestalteten Empfänger befindet sich da, wo im Sender die Funkenstrecke ist, ein empfindlicher empfangender Apparat, der sog. Cohärer oder Fritter.

Rein äusserlich, sage ich, gleichen sich beide Senderanordnungen derart, dass dem Laien kaum ein Unterschied vorhanden scheinen dürfte. In Wirklichkeit sind sie principiell

verschieden. In der EDISON'schen Anordnung würden die Ladungen und Entladungen des Senders nur langsam vor sich gehen, im Tempo etwa des Unterbrechers, welcher den Inductor versorgt, sagen wir höchstens einige hundert Mal pro Secunde. Diese Ladungen verhalten sich wie ruhende. Die Funkenstrecke in der Marconischaltung dagegen bewirkt, dass im Sender rasche Ladungen und Entladungen zu Stande kommen, deren Anzahl sich nach Millionen pro Secunde beläuft. Diese sehr schnellen electrischen Oscillationen (electrische Wellen) folgen aber ganz anderen Gesetzen als die langsamen. Erst sie werden für eine beträchtliche Fernwirkung brauchbar.

Es ist hier der Ort, kurz auf diese schnellen electrischen Schwingungen einzugehen. Man hat sie zuerst bei den Entladungen von Leidener Flaschen gefunden. Nachdem HELMHOLTZ schon in seiner ‚Erhaltung der Kraft' 1847 auf die Möglichkeit einer solchen alternirenden Entladung hingewiesen und sie aus bereits vorliegenden Erfahrungen wahrscheinlich gemacht hatte, wurde 1855 von Sir WILLIAM THOMSON auf theoretischem Wege nachgewiesen, dass electrische Oscillationen entstehen können; es wurde festgestellt, von welchen Bedingungen ihr Auftreten abhänge, und wie sich die Stärke, die Anzahl und das zeitliche Abklingen der Schwingungen aus den Dimensionen des Flaschenkreises berechne. Bald darauf wies FEDDERSEN die Oscillationen experimentell nach. Indem er das Bild des Flaschenfunkens von einem kleinen Hohlspiegel, der etwa hundert Mal in der Secunde um eine dem Funken parallele Axe rotirte, auf eine

photographische Platte fallen liess, wurde das Funkenbild auf der letzteren zu einem hellen Streifen ausgezogen. Dieses selber aber zeigt sich aus hellen und dunkelen Bändern bestehend, welche beweisen, dass die Entladung intermittirend ist. Fig. 2 zeigt zwei solcher Photographien. Es geht ein electrischer Strom in einem Moment von links nach rechts, nach kurzer Zeit — hier ungefähr ein hunderttausendtel Secunde — umgekehrt einer von rechts nach links, dann wieder in der ersten Richtung u. s. w. Es finden Oscillationen statt, welche allmählich schwächer werden, um dann ganz zu erlöschen.

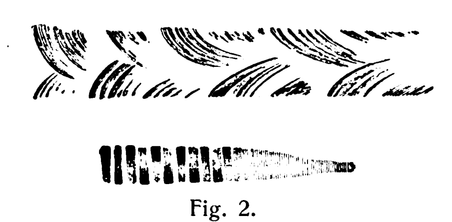


Fig. 2.

Dieses Absterben der Schwingungen rührt von zwei Ursachen; die eine besteht darin, dass Energie an den umgebenden Raum abgegeben wird. Die electrischen Schwingungen erzeugen im umgebenden Raume, auch wenn er, wie hier der Luftraum, nicht leitend ist, electrische Verschiebungen, welche sich, wie wir jetzt wissen, mit Lichtgeschwindigkeit durch denselben fortpflanzen. Wir merken für gewöhnlich von denselben nichts. Bringen wir aber irgendwo in der Nähe wieder leitende Körper an, etwa einen ringförmigen Metalldraht, der auf einer kurzen Strecke (etwa 1 Millimeter oder weniger) unterbrochen ist, so verrathen kleine Funken, welche dort überspringen, dass auf das Metall sich electrische Bewegung übertragen hat. Wir nennen dies einen inducirten Strom oder in unserem Falle eine inducirte Schwingung.

Die zweite Dämpfungsursache liegt darin, dass die electrische

Bewegung sich im Leiter und besonders im Funken allmählich in Wärme (Strom- oder JOULE'sche Wärme) umsetzt.

Der electrische Vorgang verhält sich also ganz ähnlich dem akustischen. Eine angeschlagene Stimmgabel oder eine Saite tönt allmählich aus in Folge derselben Vorgänge: einmal Abgabe der Schwingungsenergie an die Umgebung. Auch diese merken wir nur, wenn wir eine geeignete Empfangsvorrichtung, z. B. unser Ohr oder eine empfindliche Membran, in die Nähe des tönenden Körpers bringen. Und zweitens erschöpft sich die Schwingungsenergie, indem sie sich im tönenden Körper selber durch Vorgänge der sogenannten inneren Reibung in Wärme umsetzt. Nur ist dieser letztere Energieverlust im tönenden Körper im Allgemeinen geringer als beim schwingenden electrischen System.

FEDDERSEN hatte mit Flaschenentladungen Schwingungen erzeugt, von denen bis zu etwa 500000 in der Secunde erfolgten.

Indem HERTZ diejenigen Grössen, welche die Schwingungsdauer bestimmen, entsprechend verkleinerte, konnte er Schwingungen herstellen (1887), von denen etwa 10 Millionen in der Secunde stattfinden, später ging er sogar bis zu 500 Millionen, und Andere haben diese Grenze noch weiter hinaufgerückt. Es ist sein unsterbliches Verdienst, dass er mittels dieser raschen Oscillationen in genial und kühn angelegten Versuchen mit seinem durchdringenden geistigen Blick bewiesen hat, was MAXWELL's Theorie voraussehen liess: dass electrische Oscillationen sich verhalten wie Licht. Es sei nur ein Beispiel erwähnt: Werden zwei Metallstäbe (Fig. 3) von, sagen wir, je 30 cm Länge und einigen Centimetern Durchmesser, welche an der Stelle F etwa

einen halben oder ganzen Centimeter von einander abstehen, mit den Polen eines Inductors (oder einer Electrisirmaschine) verbunden, so laden sich beide mit entgegengesetzten Electricitäten; diese Ladungen mögen so lange gesteigert werden, bis sie durch einen Funken bei sich F ausgleichen. In diesem Momente setzen Oscillationen ein; es verhält sich so, als wenn Electricität durch den Funken von rechts nach links plötzlich durchbräche, an den freien Enden der Stäbe reflectirt würde, daher durch den Funkencanal wieder von links nach rechts gehe, dann wieder in der ersten Richtung u. s. f. Diese electrische Bewegung zieht das umgebende Medium in Mitleidenschaft. Es überträgt sich ein Theil der Energie an eine erste Luftschicht, von ihr an eine zweite u. s. w. Und während nun in den einzelnen Schichten die electrische Verschiebung parallel zum erregenden Leiter stattfindet, geht die Uebertragung von Schicht zu Schicht fort, also senkrecht zur Richtung der electrischen Strömung. Wir nennen dies eine fortschreitende Transversalwelle.

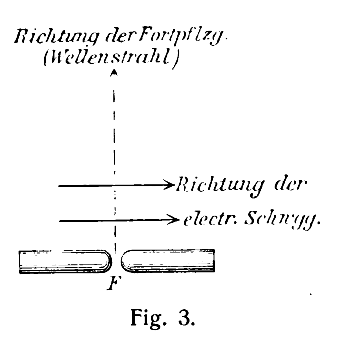


Fig. 3.

Sie durchmisst den Raum mit Lichtgeschwindigkeit, sie verhält sich aber auch sonst wie eine Lichtbewegung, eine Lichtwelle. Trifft sie auf ein Mittel, welches ihr eine andere Fortpflanzungsgeschwindigkeit vorschreibt, so wird sie bei dem Uebergang in dasselbe gebrochen, genau nach den Gesetzen der Lichtstrahlen. Fällt sie auf Metalle, so wird sie reflectirt. Dies hat HERTZ durch seinen bekannten Spiegelversuch nachgewiesen. In

der Brennlinie eines parabolischen Blechcylinders (Fig. 4) wurden vom Oscillator die Schwingungen erregt; sie breiten sich nach allen Richtungen aus; ein Theil derselben trifft auf die Spiegelfläche, wird dort reflectirt und tritt nun als ein Bündel paralleler „electrischer Strahlen“ in den Raum. Die Energie bleibt jetzt auf diesen Strahlencylinder concentrirt. Trifft er in einigem Abstand einen dem ersten gleichen und gleichgestellten Spiegel,

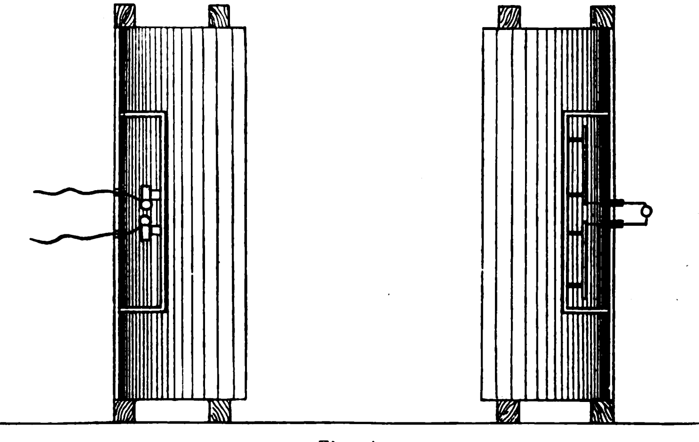


Fig. 4.

so drängt der letztere durch Reflexion die Energie wieder in die Brennlinie zusammen, und indem HERTZ dort zwei Metallstäbe anbrachte, ganz ähnlich denen des Oscillators, konnte er zwischen, resp. wie Fig. 4 zeigt, bequemer hinter denselben wieder durch — freilich winzig kleine — Fünkchen die Ankunft der Welle constatiren.

Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht der Hauptgruppen der bis jetzt bekannten „electrischen Wellen“. Hypothesenfrei wird man sie wohl „als Transversalwellen im Dielectrikum“ be-

Anzahl ganzer Schwingungen pro 1 sec	Wellenlänge (in Luft)	Erzeugungsart
50	6000 km	Gebräuchlicher Wechselstrom
25 000 500 000	2400 m 600 „	Entladung von 2 bis 16 Leidener Flaschen in 5 bis 1300 m Kupferdraht (FEDDERSEN 1858)
10 Millionen	30 „	8 m langer HERTZ'scher Plattenoscillator (LODGE 1889)
50 „	6 „	HERTZ bei seinen ersten Versuchen 1887
500 „	0,6 „	HERTZ bei seinen Spiegelversuchen 1888 (2 Metallstäbe von 26 cm Länge, 3 cm Durchmesser)
1500 „ 10 000 „	21 cm 3 „	Metallkugeln von 8 bis 0,8 cm Durchmesser (RIGHI 1893)
50 000 „	0,6 „	Platindrähte je 1,3 mm lang und 0,5 mm dick (LEBEDEW 1895)
12 Billionen	0,024 mm	Längste genau bekannte Wärmestrahlen, sogenannte Reststrahlen des Fluorits (RUBENS 1897)
450 „	0,00069 mm	Rothes Licht (etwa Linie *B*)
800 „	0,00039 „	Violettes Licht (etwa Linie *H*)
—	—	Uranstrahlen
unmessbar gross	unmessbar klein	Röntgenstrahlen (?)

Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Luft = 3.10^{10} [C S].

zeichnen dürfen. Unzweifelhaft electrischer Natur sind die angeführten Schwingungen bis zu 6 mm Wellenlänge. Ihnen reihen sich an die als Wärme- und Lichtstrahlen bezeichneten, gleichfalls höchst wahrscheinlich electrisch, obschon ein directer Nachweis dieser Eigenschaft noch aussteht. Unsere heutige Vorstellung ist die folgende: Denkt man den HERTZ'schen Oscillator sich kleiner und kleiner werdend, so steigt die Schwingungszahl immer mehr, die Wellenlänge nimmt fortwährend ab. Die kleinen LEBEDEW'schen Platinstäbchen geben Wellen, die bis 3 mm Länge, d. h. bis zu 100000 Millionen Schwingungen nachweisbar waren. Verkleinern sich die Dimensionen bis zu molecularen Gebilden, so treten die Schwingungen als strahlende Wärme und Licht in Erscheinung. Der grosse Sprung in den Wellenlängen dieser Strahlen (1:10000 bezw. 1:240) hängt voraussichtlich zusammen mit dem fast discontinuirlichen Uebergang von einem noch sichtbaren Körperchen zu den kleinen Moleculardimensionen. Könnten wir grosse Molecüle (vielleicht thun es „Molecularmagnete") zu Wärmeschwingungen veranlassen, so würden wir erwarten dürfen, dass die Lücke sich theilweise ausfüllt. Die Uran-, Thorium-, Radiumstrahlen u. s.w. haben auch den Charakter des Lichtes, der Brechbarkeit, Polarisirbarkeit und einer messbaren Wellenlänge. Sie rühren demnach wohl von relativ kleinen Atomen her. Schwingungen endlich von den räthselhaft kleinsten Theilchen, die wir in den Kathodenstrahlen annehmen müssen, jener Gebilde, welche eine Materie darstellen von einer solchen Feinheit, dass sie auch die Zwischenräume der Moleküle fester Körper passiren kann, frei beweglich (denn sie geben ihre electrische Ladung nicht ab), wie eine Sternschnuppe zwischen den

Himmelskörpern — ihre Schwingungen könnte man als die Erzeuger der Röntgenstrahlen betrachten.[1]

Schon im Jahre 1889 erhielt HERTZ vom Civilingenieur HUBER in München die Anfrage, ob sich seine Wellen nicht zu einer drahtlosen Telegraphie würden verwenden lassen. HERTZ verneinte die Frage. Wäre sie zwei Jahre später an ihn ergangen, vielleicht hätte er sie bejaht.

In der Zwischenzeit (1890) hatte sich nämlich eine merkwürdige Entdeckung durch BRANLY vollzogen. Sie besteht im Folgenden: In einem Glasröhrchen (Fig. 5) möge sich zwischen zwei Metallstäbchen etwas lockeres Metallpulver, wie Eisen-, Nickelfeile, Chrombröckchen oder dergl., befinden. Im Allgemeinen ist das Metallpulver so gut wie nicht leitend; schaltet man daher ein solches Röhrchen in einen aus einem galvanischen Element und einem stromanzeigenden Apparat bestehenden Kreis ein, so beobachtet man keinen oder einen nur minimalen Strom. Treffen aber jetzt electrische Wellen auf den Kreis, so wird die Feilicht sofort zu einem sehr guten Leiter und der Multiplicator zeigt starken Strom. Ein leichter Schlag auf das Röhrchen genügt aber, es wieder in nicht leitenden Zustand zu bringen.

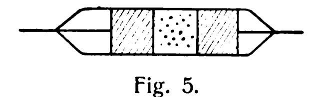


Fig. 5.

Die Erscheinung rührt offenbar daher, dass an den kleinen und kleinsten Berührungsstellen eine Aenderung, ein näheres Aneinanderschliessen der Theilchen stattfindet. Es war auch schon vor BRANLY bekannt,[2] dass ein ganz schwacher Inductionsstoss, durch Metallpulver geleitet, diese Aenderung hervorbringt, welche dauernd ist, so lange keine Erschütterung stattfindet. Dass

dieses Mittel aber ein ganz ausserordentlich empfindliches Reagenz auf electrische Wellen darstellt, wurde erst durch ihn gezeigt.

Ueber die eigentliche Natur der Aenderung lässt sich zur Zeit noch nichts Bestimmtes sagen. Die Thatsache selber genügt aber für unsere Zwecke. Wir haben in der BRANLY'schen Röhre, auch Cohärer oder Fritter genannt, einen empfindlichen Detector für electrische Wellen. In der That: ein kleines Fünkchen, in einem Abstand von mehreren Metern vom Stromkreise des Cohärers erregt, lässt denselben ansprechen.

Wenige Jahre (1895) nach BRANLY's Entdeckung wurde der Cohärer schon von Prof. POPOFF an der Forstakademie in Kronstadt benutzt, um luftelectrische Entladungen anzuzeigen und zu registriren. Fig. 6 giebt eine Abbildung des POPOFF'schen Apparates.

Der Blitzableiter des Gebäudes führt bei A zum Cohärer, von B geht er zur Erde. Eine luftelectrische Entladung erregt den Cohärer, damit schliesst sich der Relaisstrom; dieser bewirkt Stromschluss im oberen Electromagneten, der Hammer schlägt gegen die Glocke, um ein hörbares Zeichen zu geben, und klopft beim Rückschwingen auf den um den Cohärer gelegten Gummiring; er wird dadurch wieder stromlos und ist zum Empfang eines neuen Signales bereit.

Der POPOFF'sche Apparat ist im Wesentlichen identisch mit dem MARCONI'schen Empfangsapparat in dessen erster Form. Wie POPOFF luftelectrische Erregungen damit registrirte, so nimmt MARCONI damit die von der Geberstelle ausgehenden electrischen Wellen auf.

Das Marconisystem ist damit in den Grundzügen gegeben. An der Geberstelle ist ein isolirter Draht auf eine Höhe, sagen

wir von 30 bis 40 m, geführt. Er ist mit dem einen Pole des Inductors verbunden und endet unten in einer Kugel. Dieser gegenüber steht in einem Abstand von einigen Centimetern eine zweite, mit dem anderen Inductorpol verbundene. Letzterer ist gleichzeitig zur Erde geführt. Diese Erdverbindung erhöht, wie

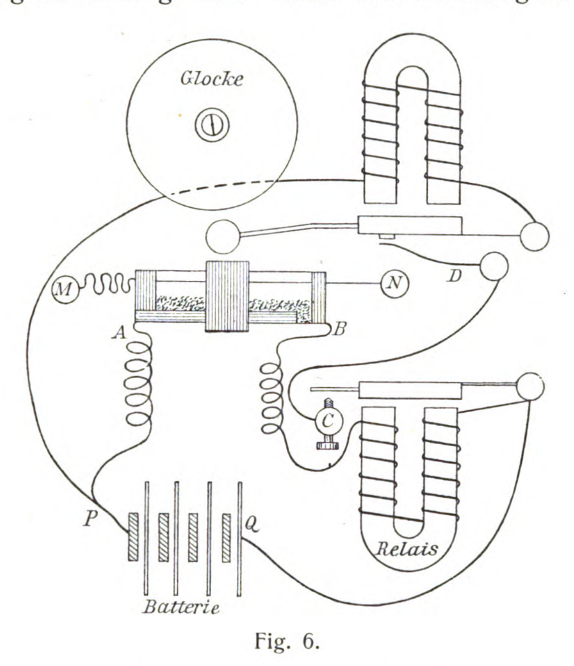


Fig. 6.

MARCONI zuerst fand, die Fernewirkung des Senders ganz ausserordentlich und macht ihn erst praktisch brauchbar.

Wird der Inductor nur ganz kurze Zeit bethätigt, etwa nur ein einziger Funke bei *F* erzeugt, so entsteht nur ein einziger, schnell abklingender Wellenzug. Der Empfänger nimmt einen Theil der ausgesendeten (ausgestrahlten) Energie auf, der Cohärer wird leitend und auf dem ablaufenden Papierstreifen des Morseapparates entsteht ein ganz kurzer Strich — ein Punkt.

Werden mehrere solcher Punkte kurz hinter einander gegeben, d. h. lässt man den Geber etwas länger arbeiten, so bedeuten diese entweder einen Strich, oder aber man kann auch direct einen Strich schreiben lassen, indem man dem Schreibapparat absichtlich etwas mehr Trägheit giebt, so dass die einzelnen Punkte zusammenfliessen.

Im Schreibapparat selber sind noch Vorrichtungen anzubringen, welche bewirken müssen, dass Unterbrechungsfunken oder starke Stromänderungen, welche in den verschiedenen Theilen des Apparates vorkommen, nicht ihrerseits den benachbarten Cohärer wieder erregen. Dies wird erreicht durch Condensatoren, Inductionsspulen (sog. Drosselspulen), metallische oder electrolytische Nebenschlüsse, auf welche Details wir hier nicht eingehen.

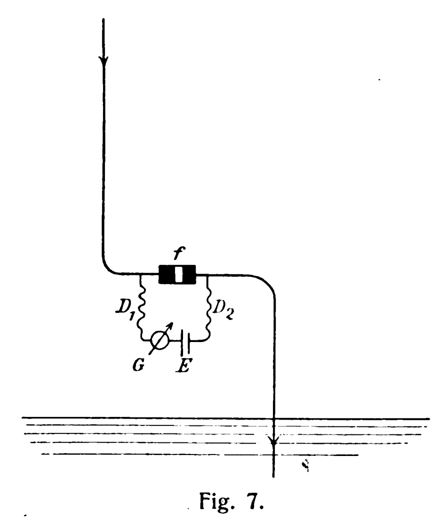


Fig. 7.

Das einfachste Schema des ursprünglichen Marconiempfängers zeigt Fig. 7. Die Drosselspulen D_1 und D_2 versperren der den Empfangsdraht herablaufenden electrischen Welle den Weg durch die neben den Cohärer geschalteten Apparate und bewirken somit eine möglichst volle Erregung des Cohärers.

Marconi begann seine Versuche auf dem Landgut seines Vaters. Er war durch Vorlesungen, welche er bei Righi in Bologna über Hertz'sche Wellen hörte, dazu angeregt worden.

RIGHI selbst hatte sich viel mit den Erscheinungen beschäftigt, insbesondere sehr wirksame Anordnungen gegeben, um kurze Wellen zu erzeugen, welche in Verbindung mit einem von ihm ersonnenen Detector gestatteten, mit compendiösen Apparaten und auf dem Raume eines grossen Tisches die wichtigsten HERTZ'schen Versuche zu wiederholen. Dieser Righigeber (Fig. 8) besteht aus zwei kleineren und zwei grösseren Metallkugeln; von den mit den Polen des Inductors verbundenen kleinen Seiten-

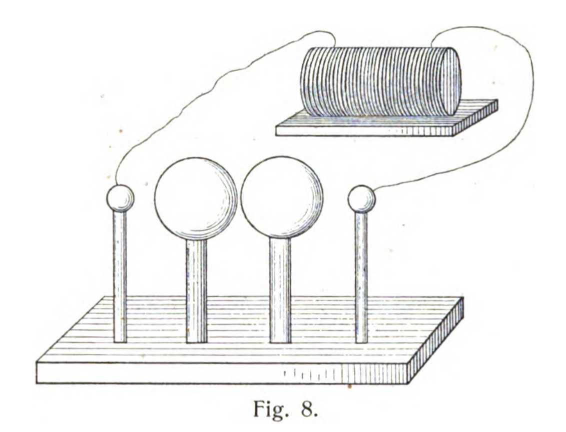


Fig. 8.

kugeln aus werden die grossen durch eine Funkenstrecke geladen. Diese letzteren bilden den Oscillator.

Es erklärt sich aus dem historischen Gang, dass MARCONI bei seinen Anfangsversuchen den Righigeber verwendete. Er nahm an, dass die Wellen, wie sie von ihm bei seiner gewöhnlichen Verwendung ausgehen, auch bei seiner Schaltung entständen.[3] Empirisch fand er bald, dass die Fernewirkung zunahm mit der Länge der verticalen Luftleiter, sowohl derjenigen des Senders, wie des Empfängers; ferner constatirte er als

der Erste die sehr beträchtliche Steigerung durch die Erdleitung. Im Jahre 1896 begann er Versuche in England, welche im Frühjahr 1897 mit Unterstützung von PREECE daselbst fortgesetzt wurden, und welchen auch SLABY als Gast beiwohnte; im Juli 1897 gelang es MARCONI im Golfe von Spezia von Land zu Schiff auf 12 km Depeschen zu geben. Im Herbste desselben Jahres wurden die MARCONI'schen Versuche von SLABY bei Berlin aufgenommen und schon damals mittels Luftballons, die 300 m hoch standen, Depeschen auf 21 km über Land versendet. Heute soll MARCONI bereits auf 300 km mit mässigen, aber mir nicht bekannten Masthöhen telegraphiren (vgl. Anmerkung 10).

Ich verlasse nun die historische Darstellung, um mich der Besprechung eigener Versuche zuzuwenden.

I. Ueber Hydrotelegraphie.

Meine ersten Versuche und Bemühungen gingen zurück auf die Verwendung der Erde bezw. des Wassers als Leiter, schliessen also gedanklich an die Versuche von RATHENAU und STRECKER[4] an. Sie unterscheiden sich von ihnen aber durch die folgende Erwägung:

Wenn man (Fig. 9) durch einen Punkt A einer — der Einfachheit halber — unendlich gross gedachten leitenden Platte electrischen Strom zuführt und durch einen Punkt B wieder wegführt, so verbreitet sich die Strömung auf Kreisbögen, welche durch A und B hindurchgehen. Es sind die Strömungslinien. Die Intensität der Strömung ist um so grösser, je kürzer diese Bogen sind, also am stärksten in der Verbindungslinie AB, schwächer je weiter die Bogen von dieser Geraden abweichen. Bringt man nun an zwei Punkten α und β einer Strömungslinie zwei Electroden an, so kann man von ihnen aus „Zweigströme" abnehmen und etwa zu einem Multiplicator oder Telephon hinführen. Dieser Zweigstrom wird noch beträchtlich sein zwischen α und β, kleiner bei α_1 und β_1, noch kleiner bei α_2 und β_2 und so gut wie Null zwischen α_3 und β_3 — immer gleiche Abstände der

Electroden vorausgesetzt. Die Versuche am Wannsee, desgleichen die späteren von STRECKER, welcher mittels Electroden, die ins Grundwasser geführt waren, durch den Erdboden Zeichen gab, benutzten wesentlich oder ausschliesslich eine der günstigsten Lagen, indem Sender- und Empfängerstrecke sich parallel und

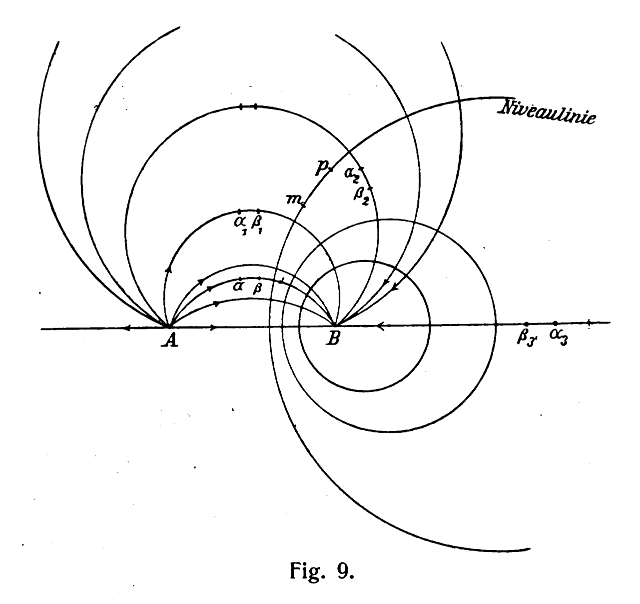


Fig. 9.

senkrecht zur Verbindungslinie der Streckenmittelpunkte gegenüber standen.

Schneidet man die kreisförmigen Strömungslinien durch ein System von Curven, welche überall senkrecht zu den ersteren verlaufen, so erhält man die sogenannten Niveau- oder Aequipotentiallinien. Geometrisch verhalten sich diese letzteren zu den Strömungslinien wie die Breitengrade der Erde zu den Meridianlinien. Diese Niveaulinien sind dadurch charakterisirt, dass man von zwei Punkten derselben keinen Strom nach aussen

ableiten kann; es herrscht auf allen Punkten einer und derselben Niveaulinie gleiche electrische Spannung. Legt man also z. B. eine Electrode nach m, die andere nach p, so würde bei dieser Lage ein dazwischen angebrachtes Galvanometer kein Zeichen geben.

Diese Stromvertheilung gilt streng für einen constanten und praktisch auch ebenso für einen langsam wechselnden oder „zerhackten Gleichstrom“, wie sie von RATHENAU und STRECKER benutzt wurden.

Handelt es sich nicht um eine leitende Fläche, sondern um einen körperlich ausgedehnten Leiter, wie eine tiefe Wassermasse, so dringen die Ströme auch nach unten in dieselbe ein. Die Ströme verlieren sich also rasch nach allen Seiten hin.

Ganz anders werden sich voraussichtlich die Verhältnisse gestalten, wenn man statt der constanten oder langsam wechselnden Ströme sehr schnell wechselnde, sogenannte Ströme von hoher Frequenz verwendet.

Theorie und Erfahrung zeigen Folgendes: Führt man einem cylindrischen Leiter, etwa einem langen, dicken Kupferdraht, einen constanten Strom zu, so erfüllt er den ganzen Querschnitt gleichmässig. Die Wechselströme der üblichen Frequenz, wie sie für Beleuchtungszwecke benutzt werden (100 Wechsel = 50 ganze Schwingungen pro Secunde), verhalten sich noch merklich ebenso. Steigert man aber die Frequenz, so wird das Innere des Drahtes immer mehr und mehr stromlos und bei sehr schnellen Schwingungen, wie Leidener Flaschenentladungen oder gar HERTZ'schen Wellen, erfolgt praktisch die Stromleitung nur noch in einer sehr dünnen Oberflächenschicht. Diese Schicht ist ceteris paribus um

so dünner, je besser der Stoff die Electricität leitet. Es gleitet, wie man sich ausdrückt, die Welle nur noch über die Oberfläche weg, und die Vertheilung auf derselben nähert sich, qualitativ esprochen, der einer freien electrischen Ladung.

Die Ursache dieses Vorganges liegt in der gegenseitigen Inductionswirkung, welche die einzelnen Leitertheile auf einander ausüben.

Diese für einen cylindrischen Leiter theoretisch deducirbare, experimentell gut bestätigte Erscheinung lässt vermuthen, dass auch für einen flächenförmigen oder körperlichen Leiter die Stromvertheilung sehr schneller Schwingungen eine wesentlich andere sein wird als diejenige gewöhnlicher Wechselströme. Es ist zu erwarten, dass 1) die ganze Strömung wesentlich an der Oberfläche bleibt und dass 2) starke Stromlinien sich, im Gegensatz zum Verhalten des constanten Stromes, in weiten Bögen aus der directen Verbindungslinie der Electroden herausdrängen. Auch für mässig gute Leiter, wie Fluss- und Seewasser, wird dies noch gelten. Die praktisch in Betracht kommenden Oberflächenschichten schätzen sich dabei auf rund 1 bis 2 m Dicke und darunter.

Wenn sich diese Vermuthungen bestätigten, so konnte darauf offenbar eine drahtlose Telegraphie durch Wasser hindurch gegründet werden, welche gegenüber den früheren hydrotelegraphischen Methoden sowohl wie der Telegraphie durch den Luftraum hindurch in manchen Fällen unzweifelhaft Vortheile besass. Verlangt wird bei ihr eine zusammenhängende Wassermasse; dagegen konnten Landzungen, Berge, bewachsenes Terrain dazwischen, keine Hindernisse abgeben.

Die erste Aufgabe war: schnelle electrische Oscillationen dem Wasser zuzuführen. Auf Herstellung mittels rotirender Maschinen, wie sie TESLA will construirt haben, musste Verzicht

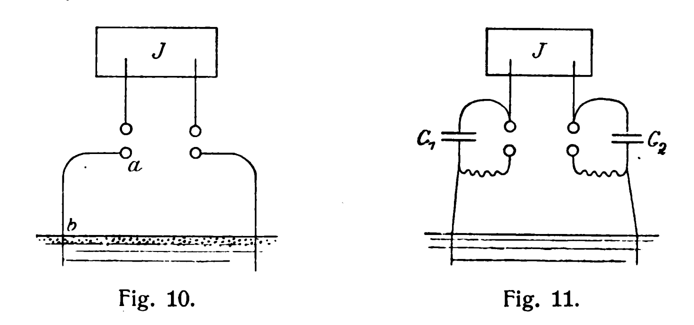


Fig. 10. Fig. 11.

geleistet werden. Es gelang aber mittels Anordnungen, deren einige in Fig. 10 bis Fig. 16 abgebildet sind. In Fig. 10 ist, wie man sich wohl noch in falscher Analogie auszudrücken pflegt,

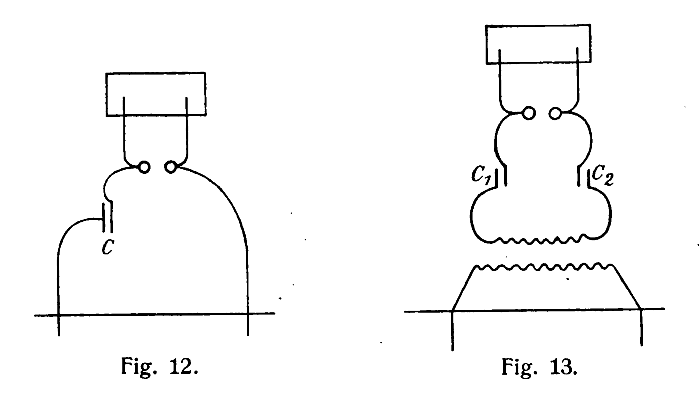


Fig. 12. Fig. 13.

der oscillirende Leiter mit Funkenstrecken in Serie geschaltet. Ihre Wirkungsweise ist ersichtlich die folgende: Durch den Funken tritt eine plötzliche Ladung des Drahtes ab auf; es geht eine Erregung von der Kugel aus, welche sich durch den Draht

bis zur Wasserfläche fortpflanzt; dort tritt sie theilweise ins Wasser über, theilweise wird sie — wegen der grossen Dielectricitätsconstante des Wassers sogar sehr stark — reflectirt. So bilden sich auf den Drähten und in der Wasserstrecke electrische Schwingungen aus.

Andere Anordnungen geben Figg. 11 bis 16. Dort bedeuten C überall Condensatoren. Eine besonders wirksame ist die in Fig. 15 schematisch abgebildete. Die Condensatoren waren zwei

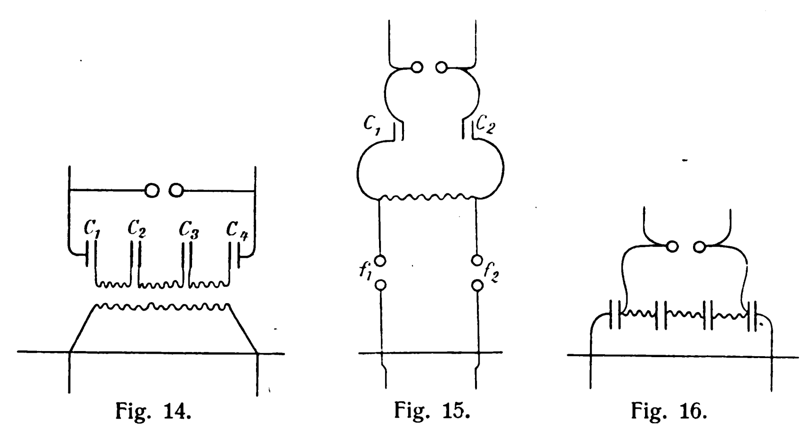


Fig. 14. Fig. 15. Fig. 16.

Leidener Flaschen von je ca. 2000 cm Capacität; als Selbstinductionsspulen dienten u. A. Spiralen von 10 bis 100 und mehr Windungen Kupferdraht; der Durchmesser der Windungen war zwischen 3 und 15 cm. Die richtige Wahl dieser Spulen ist für günstigste Wirkung sehr wesentlich.

Die Schaltung an der Auffangestelle kann nach Fig. 17 oder 18 gemacht sein; f bedeutet den Cohärer, E ein Element, G den Stromzeiger, C_1 einen Condensator. Dieser kann bei der ersten Schaltung dadurch ersetzt werden, dass man einfach eine Spule besponnenen Drahtes von einigen Metern Länge in das

Wasser wirft. Dieser bequeme Modus wurde meistens benutzt, denn es handelte sich zunächst darum, die Richtigkeit des Principes zu prüfen.

Da die Zuleitungsdrähte zum Wasser in der gegebenen Anordnung gleichfalls von Wellen durchlaufen werden, so war es nöthig Folgendes nachzuweisen: 1) dass die Wirkung nicht durch die Luft übertragen wurde; 2) dass es keine Inductionswirkung im Sinne der PREECE'schen Versuche war, und 3) dass

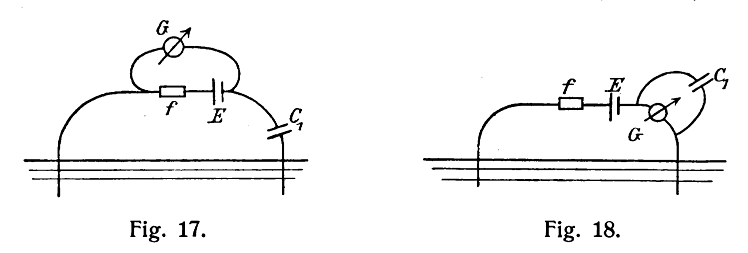


Fig. 17. Fig. 18.

die aus der allgemeinen Ueberlegung gezogenen Schlussfolgerungen wenigstens qualitativ zutrafen.

Allen diesen Forderungen konnte genügt werden. Den Beweisen vorausgeschickt sei aber die folgende Bemerkung: Es muss möglich sein, aus dem Wasser Signale herauszuleiten, wie auch immer die Lage $\alpha\beta$ der Auffangestelle zur Verbindungslinie ab der Pole der Geberstelle orientirt ist. Denn befinden sich α und β (vgl. Fig. 9) auf Strömungslinien, sind sie also Punkte von verschiedenem Potential, aber gleicher Phase, so ist dies selbstverständlich; liegen sie aber auf einer der dortigen Niveaulinien, so muss dies auch möglich sein; denn wenn die Welle zuerst den Punkt m erreicht, so pflanzt sie sich von da bis zum Cohärer längs des Drahtes fort; der andere Pol des Cohärers hat dann noch anderes Potential so lange, bis die

an *m* vorbei gelaufene Potentialschwankung den Punkt *p* im Wasser erreicht und durch den daselbst endenden Draht zum Cohärer zurückgeleitet worden ist. Man übersieht, dass jedenfalls — wenn überhaupt — nur ganz exceptionelle relative Orientirungen der beiden Strecken auffindbar sind, in welchen keine Wirkung eintreten kann; man erkennt ausserdem, dass sich die Wirkungslosigkeit stets durch Aenderung der Cohärerleitung vermeiden lässt.

Wäre nur der erste Impuls maassgebend, so sollte ein Zuleitungsdraht zum Cohärer genügen. Für kleine Entfernungen ist dem thatsächlich so; dass für grössere Entfernungen aber der zweite Draht die Wirkung verstärkt, beweist, dass die Verhältnisse complicirter sind als die vorgetragene Darstellung.

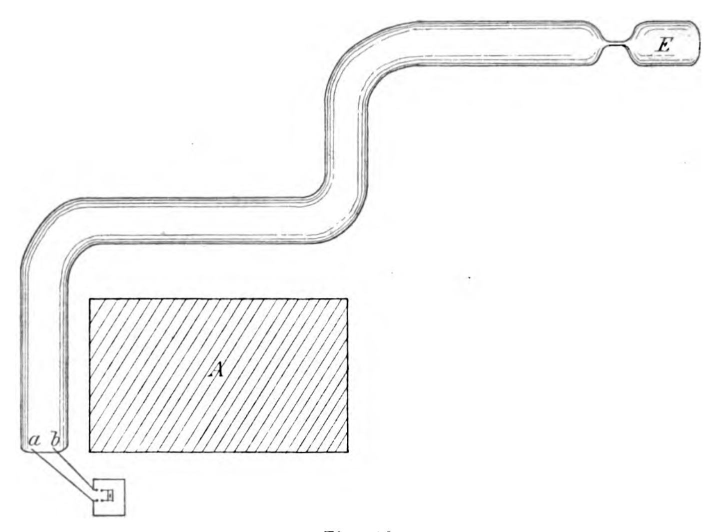


Fig. 19.

Die ersten Versuche fanden (Frühjahr 1898) statt an alten Festungsgräben; die ungefähre Gestalt des einen zeigt Fig. 19.

Der Raum A ist mit hohen Gebäuden erfüllt, welche von vornherein die Möglichkeit einer directen Wirkung durch die Luft fast ausschlossen. Die Versuche gelangen gut auf dem ganzen Wassergraben bis zur letzten Ecke; die Wirkungen nahmen aber sofort sehr beträchtlich ab, wenn die Auffangedrähte in das Becken E verlegt wurden, welches nur durch eine noch nicht meterbreite und wenige Centimeter tiefe Wasserrinne mit der Hauptwassermasse communicirte, konnten aber durch Wahl einer günstigeren Spule im Sender auf den Werth, den sie im zusammenhängenden Wasser zeigten, gebracht werden.

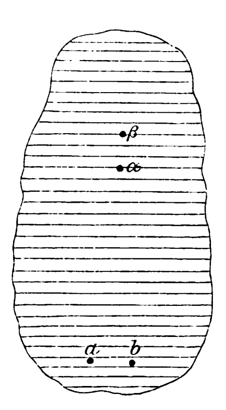


Fig. 20.

In anderen Versuchen wurden $a\,b$ und $\alpha\beta$ orientirt, wie Fig. 20 zeigt; hier war die Wirkung die gleiche, als wenn $\alpha\beta$ parallel zu $a\,b$ gedreht wurde, ein Beweis, dass die Wirkung nicht nach der PREECE'schen Anordnung zu Stande kommt.

Es wurde dann versucht wie die Erscheinungen sich machten, wenn die Auffangedrähte in der für stationäre Ströme möglichst ungünstigen Lage $\alpha_3\beta_3$ (Fig. 9) sich befanden. Die Linien ab und $\alpha\beta$ waren etwa 80 m lang und befanden sich an einem fast geradlinigen Ufer des Rheines; es konnten längs des Rheines bezw. aus dem Rhein in die Kinzig hinauf bis zu etwa 1600 m Signale gegeben werden. In dem den Rhein umgebenden, wasserdurchzogenen Kiesboden wurde etwa nur die halbe Entfernung erreicht. Mit den blossen Inductorladungen war keine Wirkung vorhanden.

Diese und eine Reihe ähnlicher Versuche zeigten die

Richtigkeit des Princips. Eine wichtige Frage war aber noch, ob und bis zu welchen Entfernungen auch in Seewasser Signale verschickt werden könnten. Denn wenn die Methode auch den Vortheil bietet, dass die ausgegebene Energie in einer verhältnismässig sehr dünnen Oberflächenschicht verbleibt, so muss eine Abnahme derselben mit zunehmender Entfernung ausser der Ausbreitung auf grössere Flächen noch eintreten in Folge eines Umsatzes in JOULE'sche Wärme.

Versuche, welche deshalb später bei Cuxhaven auf eine Entfernung von rund 3 Kilometer angestellt wurden, gaben ein positives Resultat.

Zur Beurtheilung dieser Versuche ist zu bemerken, dass sie 1) mit schwachen Kräften gemacht wurden; es diente meist nur ein Inductor von 10 cm Schlagweite und eine Stromquelle von 8 Bunsenelementen dazu; die Funkenstrecken f_1 und f_2 (Fig. 15) waren in allen Fällen nur 1 bis $1^1/_2$ mm lang; 2) waren die Anordnungen nicht günstig; die langen Zuleitungsdrähte waren selber von schnellen Schwingungen durchlaufen und strahlten unausgenutzte Energie in den Raum. Die starke Reflexion an einem Mittel mit dem electrischen Brechungsexponenten 9 ist jedenfalls auch nicht günstig. Man muss suchen sie zu vermeiden. Durch Schaltungen etwa nach dem Schema Figur 21 sollten diese Uebelstände mehr oder weniger vermieden werden. Es sind dort gewissermaassen zwei genau gleichzeitig arbeitende Inductoren dem Schwingungskreis gegenüber angebracht.

Die Versuche wurden, wie gesagt, einstweilen verlassen; ihre Ergebnisse sind aber vom wissenschaftlichen und prak-

tischen Standpunkt aus aussichtsvoll genug, um sie weiter zu verfolgen. Insbesondere wäre zu prüfen, wie sich die Wirkungen gestalten, wenn man einen metallischen Oscillator in das Wasser

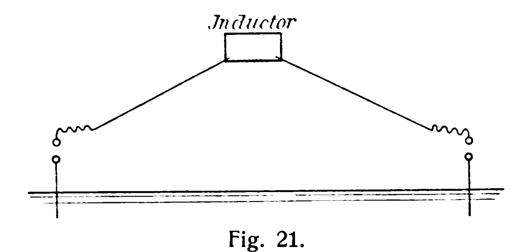


Fig. 21.

versenkt, den man etwa durch in Luft oder Oel überspringende Funken erregt; wie sich Solenoide verhalten, welche von Wasser umgeben, von Oscillationen durchlaufen werden. Die Schwingungszahl der Oscillationen wird man zweckmässig der Leitfähigkeit anpassen.[5]

II. Versuche mit Uebertragung durch Luft.

MARCONI hatte, wie erwähnt, schon 1897 Entfernungen bis zu etwa 12 km mit mässigen Masthöhen erreicht. Wenn man soweit ist, sollte man denken, müsse auch leicht die doppelte, drei- und mehrfache Entfernung erzielt werden können; man brauche dazu nur die Kraft des Gebers, also die Länge der Funkenstrecke entsprechend zu vergrössern. Dem ist aber nicht so. Wie schon HERTZ fand, ist, um „wirksame“ Funken zu erhalten, eine gewisse Länge derselben am günstigsten. Ueberschreitet man dieselbe, so wird der Funke weniger activ, d. h. er erzeugt nicht mehr in der gleich guten Weise electrische Wellen.

Die Ursache dieser Erscheinung ist offenbar darin zu suchen, dass der Widerstand der Funkenstrecke die Schwingungen dämpft; ihre Energie verwandelt sich auf der Funkenbahn in Wärme.[6]

Darin liegt eine Beschränkung der MARCONI'schen Geberanordnung. Auch eine Vergrösserung der Oberfläche des Senders durch angehängte Flächen oder Netze aus Metall nützt nicht viel. Das einzig wirksame, aber natürlich sonst unbequeme Mittel ist Verlängerung der Senderhöhe.

Es kommen dazu noch andere Uebelstände. Die starken Ladungen des Gebers können gelegentlich gefährlich werden und erfordern ausserdem eine gute Isolation; wird diese einmal beispielsweise durch ein anliegendes nasses Tau, Nebel u. s. w. mangelhaft, so kommt die Ladung gar nicht oder höchst unbedeutend zu Stande, der Geber versagt seinen Dienst.

Endlich sind die Schwingungen sehr stark gedämpft: theils durch den Funken und den Widerstand des Oscillators, theils dadurch, dass sie ihre Energie in den umgebenden Raum abgeben. Diese letztere Dämpfungsursache ist unvermeidlich, denn sie ist die Bedingung für die hier gewünschte Fernewirkung. Aber immerhin ist sie eine unangenehme Beigabe. Denn einmal werden längere Zeit anhaltende Schwingungen auch stärkere Aussenwirkung bedingen, ähnlich wie ein sehr schnell verklingender Ton eine geringere Intensität der Klangwirkung setzen wird, als ein etwas länger anhaltender. Doch wäre denkbar — man nahm es früher sogar allgemein an — dass dieser Umstand bei der Wirkung der electrischen Wellen auf den Cohärer nicht in Betracht komme, sondern für dessen Ansprechen nur der kräftigste, also erste Impuls entscheidend sei. Immerhin sind aber auch Empfangsapparate denkbar und sogar erwünscht, welche diesen discontinuirlichen Charakter nicht haben, sondern quantitativ anzeigen.

Ferner sind schnell verklingende Schwingungen nicht geeignet, um eine andere wichtige Aufgabe zu lösen: die Abstimmung eines Empfängers auf einen Sender. Dazu ist nöthig, dass die erregende Schwingung längere Zeit mit merklich gleicher

Intensität anhält. Nur dann kommt die Steigerung der Amplitude durch die Resonanz im Wellenempfänger zur Geltung.

Diese Thatsache ist aus dem Gebiete der Akustik längst bekannt, theoretisch und experimentell vollständig geklärt. Auch für electrische Wellen gilt sie; sie hat Erscheinungen, welche man einige Zeit lang falsch auffasste, richtig interpretiren lassen, sobald man über die Dämpfungsverhältnisse im Klaren war. Es sind die Erscheinungen, welche man als „multiple Resonanz" bezeichnete.

Einige Beobachter glaubten, dass von einem HERTZ'schen Erreger unendlich viele verschiedene Schwingungen ausgingen, ähnlich wie im weissen Licht unendlich viele verschiedene Schwingungen (Farben) enthalten sind. Man untersuchte nämlich mittels sogenannter electrischer Resonatoren, d. h. mit Drahtkreisen, welche je auf eine bestimmte Schwingung abgestimmt waren, die von einem Sender ausgehenden Wellen und fand, dass nicht nur ein, sondern sehr viele Resonatoren electrisch ansprachen. Der Schluss schien demnach gegeben — aber er war falsch. In Wirklichkeit zeigte sich die Sache so:

Die Schwingungen des Senders waren so stark gedämpft, dass sie schon nach wenig Schwingungen erloschen. Die Resonatoren dagegen sind schwach gedämpft. In diesem Fall regen die wenigen Impulse des Gebers immer die Eigenschwingung des Resonators an, ähnlich wie jeder Impuls, jeder Schlag, welches auch sein zeitlicher Verlauf sei, in einer Stimmgabel oder einer Saite oder einem Stück Holz dessen Eigenton hervorruft, oder wie der Wind die Saiten einer Aeolsharfe stets zu deren Tönen anregt. Ein bekannter physikalischer Versuch ist folgender:

Man nimmt vier Pappröhren, wie Thermometerfutterale, deren Längen sich verhalten wie 4:5:6:8; jede Röhre trägt eine Kappe. Zieht man rasch die Kappen ab, so entsteht in jeder Röhre ein Ton; die Töne der vier Röhren geben einen Duraccord.

Die Erklärung ist die folgende: Während des schnellen Abziehens der Kappe bildet sich im Rohre ein luftverdünnter Raum. Beim Oeffnen stürzt die äussere Luft hinein, es bildet sich ein „Verdichtungsstoss", welcher die Röhre von oben nach unten durchläuft, dort reflectirt wird, nach oben wandert, wieder reflectirt wird und so die Luft in der Röhre zu einer Schwingung veranlasst, deren Schwingungszahl d. h. deren Tonhöhe offenbar nur abhängt von der Länge der Röhre, nicht von der Art des äusseren, erregenden Impulses.

Anders wenn wir eine Stimmgabel davorhalten, d. h. eine schwach gedämpfte Schwingung auf die Luftsäule wirken lassen. Zwar überträgt dann *jede* Gabel etwas Bewegung auf die Wände und jede Gabel klingt dann etwas lauter, aber eine kräftige Verstärkung des Tones, eine laut hinhallende *Resonanz* tritt nur ein, wenn der Ton der Gabel mit dem Eigenton der Röhre ganz oder fast vollkommen übereinstimmt.

Schwach gedämpfte Senderschwingungen sind die Grundbedingung für eine gut ausgesprochene Empfängerabstimmung (vgl. S. 52). —

Allen hier gestellten Anforderungen kann man nun genügen durch Anordnungen, wie ich sie im Jahre 1898 bereits gegeben habe. Sie sind in sehr verschiedenen Formen ausführbar, kommen aber wesentlich darauf zurück, dass man 1) die

Funkendämpfung möglichst klein macht, und 2) dem möglichst stark erregten Sender sowohl die in Wärme verwandelte wie die ausgestrahlte Energie gewissermaassen aus einem Reservoir nachliefert.

Die Hauptformen sind die folgenden:

1) Man stellt sich einen Schwingungskreis her aus Capacitäten, welche so gross sind, als es sonst die Bedingungen des

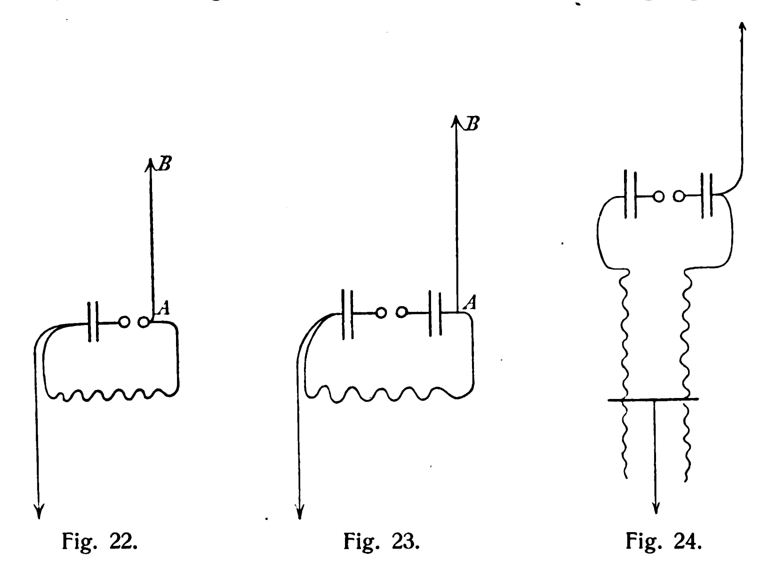


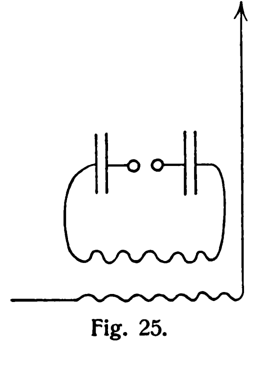
Fig. 22. Fig. 23. Fig. 24.

Versuches, in erster Linie die — etwa durch den Sender bestimmte — oder sonst gewünschte Schwingungszahl, gestatten; diese entladen sich in einem Schliessungsbogen; an denselben ist einerseits der Sender angelegt, andererseits kann ein Punkt des Kreises an Erde gelegt sein.[7] Die Figg. 22 bis 24 zeigen einige der möglichen Ausführungsformen, welche durchaus an die Formen für Hydrotelegraphie erinnern.

Die Flaschen werden mit einer beliebigen Electricitätsquelle,

meist einem Inductor oder Wechselstromtransformator, geladen. Bei der Entladung schwankt die electrische Spannung auf allen Punkten des Schliessungsbogens periodisch hin und her; die Amplitudendifferenz zwischen zwei Punkten hängt (Capacitätslosigkeit des Zwischenstückes vorausgesetzt) ab von dem Werth der zwischen ihnen gelegenen Selbstinduction. Der untere Punkt *A* des Senders schickt daher Wellen in ihn hinein, welche am oberen Ende reflectirt werden und ihn in stehende Schwingungen versetzen, wenn ihre Periode mit der Eigenschwingung des Senders übereinstimmt. Die Energie, welche ausstrahlt, wird aus dem Schwingungskreise, wie aus einem Reservoir, nachgeliefert. Denn die Schwingungen eines solchen mit grossen Capacitäten versehenen Kreises sind erfahrungsmässig schwach gedämpft.

2) Die zweite Grundform ist die der inductiven Erregung (Fig. 25). Der Flaschenkreis entladet sich durch gewöhnlich einen einzigen dicken, kreisförmigen Metalldraht, den sogenannten Primärkreis. Das untere Ende des Senders ist spiralig gewickelt, und diese Spiralen umgeben die Primärwindung. Hier werden lediglich durch Induction in der Secundärwindung Schwingungen erregt; durch Resonanz steigen die Schwingungen im Sender an und erreichen sehr hohe Amplituden, wobei die ausgestrahlte Energie wieder aus dem Primärkreise gedeckt wird. Das Abgleichen auf Resonanz ist auch hier sehr wesentliche Bedingung, soll die Vorrichtung zu ihrer vollen Wirksamkeit kommen.


Fig. 25.

Ein mechanisches Beispiel mag dies erläutern. Die beiden Pendel (Fig. 26) sind von gleicher Schwingungsdauer, aber die Linse des einen ist 400 g schwer, die des anderen wiegt nur etwa 100 g. Beide sind durch einen, etwas belasteten Faden mit einander verknüpft. Ich halte das leichtere Pendel an, ziehe das schwerere aus der Ruhelage und lasse beide gleich-

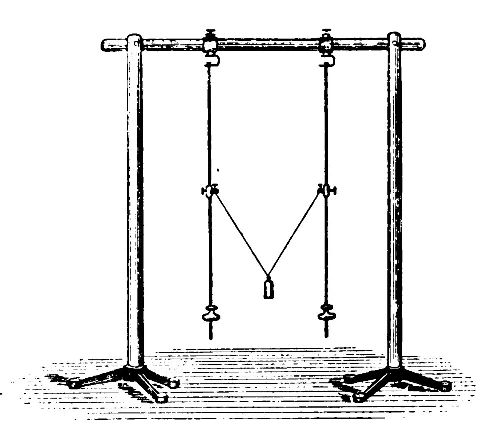


Fig. 26.

zeitig los. Das vorher ruhige Pendel fängt nun auch an sich zu bewegen, aber gleichzeitig nimmt die Amplitude des schwereren ab. Es hat seine Energie theilweise auf das andere übertragen. Dies setzt sich fort, bis nach etwa 20 Schwingungen das erregende Pendel ganz zur Ruhe gekommen ist; alle Energie ist jetzt auf das leichtere übertragen und seine Amplitude ist daher viel grösser als die Anfangsamplitude des schweren Pendels war. (Von da wiederholt sich die Uebertragung wieder im umgekehrten Sinne.)

Ganz ebenso verhält es sich hier im electrischen Versuch.

Was dort die Masse, ist hier die Capacität; was akustisch die Amplitude, ist electrisch die Spannung. Aus dem Primärkreis mit grossen Capacitäten, aber mässigen Spannungen kann ich im Secundärkreis mit kleineren Capacitäten grosse Spannungen erzeugen; die Schwingungen steigen bis zu einer gewissen Höhe an, und es wird sich für einige Zeit ein stationärer Zustand herstellen, dadurch charakterisirt, dass die nach aussen abgegebene Energie aus dem Primärkreis gedeckt wird.

Jeder Vergleich hinkt — und dieser scheint es ganz besonders zu thun. Man wird sagen: „Kein Wunder, dass die Pendel sich gegenseitig beeinflussen, denn sie sind durch einen Faden mit einander verknüpft. Nicht so die electrischen Systeme." Der Faden ist im electrischen System auch vorhanden. Es sind die electrischen Verschiebungen, welche im umgebenden Mittel von den elektrischen Strömen des Primärleiters erregt werden, deren Energie sich von Schicht zu Schicht mit Lichtgeschwindigkeit überträgt, es sind die magnetischen Kräfte, welche den Raum durchsetzen, bis sie die Secundärwindungen erreicht haben und uns dort sichtbare Wirkungen wieder hervorrufen. Kräfte sind unsichtbare Fäden. —

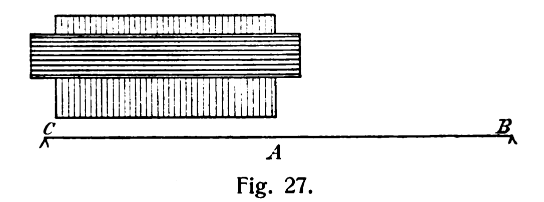


Fig. 27.

Wenn wir die electrische S t r ö m u n g im Sender akustisch mit den Amplituden vergleichen, so verhält sich der Sender wie eine an beiden Enden befestigte Saite (Fig. 27), repräsentirt also, wenn er — wie gewöhnlich — an beiden Enden frei in die Luft endet, eine halbe Wellenlänge oder

ein Multiplum derselben. Der eine Theil derselben AC befinde sich vor den lang ausgestreckten Polen eines Electromagneten. Man errege denselben plötzlich durch einen Wechselstrom, dessen Intensität aber ziemlich schnell abfalle. Die Bewegung, in welche die Saite dadurch geräth, wird ein ungefähres Bild von dem electrischen Strömungszustand des Senderdrahtes geben. Der electromagnetisch erregte Theil der Saite entspricht der inductiv erregten Senderpartie.

Das Bild wird nur ungefähr zutreffen, denn die Rückwirkung der Senderwellen auf den Primärkreis fehlt so ziemlich im akustischen Beispiel. Aber doch genügt es, um den folgenden Schluss zu ziehen. Will man möglichst grosse Schwingungen auf der Saite erzielen, so wird man sie in der Mitte, nicht in der Nähe des Endes erregen. Und dies bestätigt sich im electrischen Versuch. —

Ich will mich hier auf die mit der inductiven Erregung erzielten Resultate beschränken. Die folgende Tabelle zeigt[8], dass mit zunehmender primärer Energie die dem Marconisender zugeführte Schwingungsenergie bald ihre Grenze erreicht, während sie im inductiv erregten von Anfang an grösser und noch im Steigen begriffen ist.

Strom im Inductor	Relative electromagnetische Energie	
	Marconi-schaltung	Inductive Erregung
2 Amp.	8	26
2½—3 Amp.	10	40
4	10	55
6	10	62

Die Versuche im Freien bestätigten unter allen Umständen die Ueberlegenheit gegen die Marconischaltung, und da diese

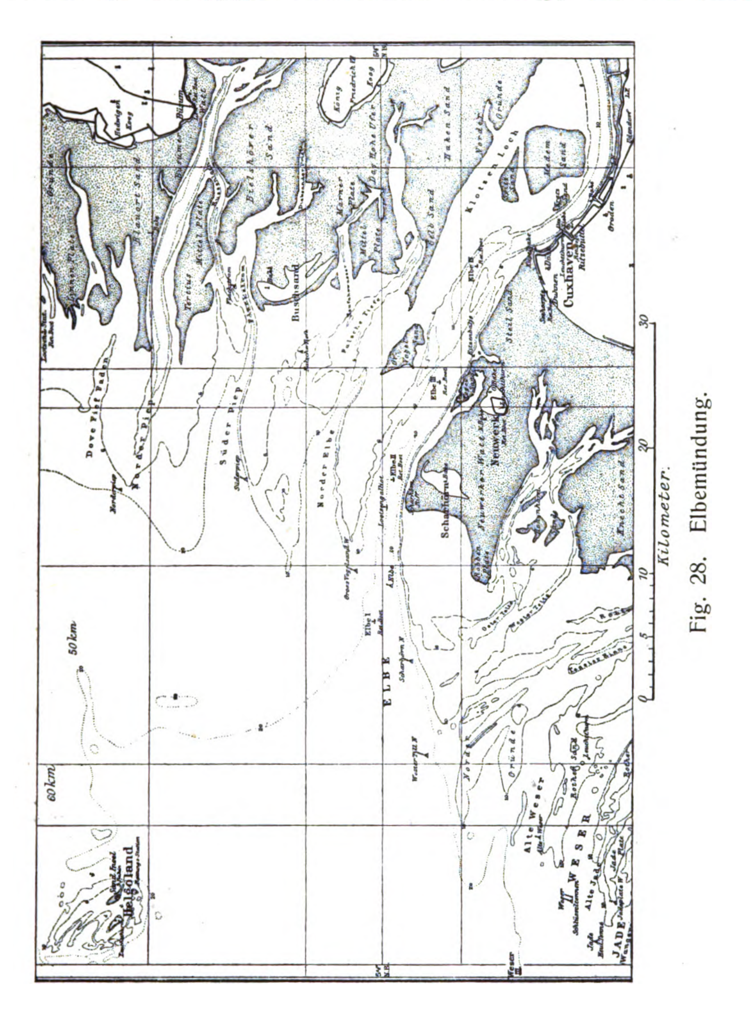


Fig. 28. Elbemündung.

wiederum bessere Wirkungen giebt, als sonst bekannte Schaltungen, z. B. die SLABY-ARCO'sche, so ist sie als die wirksamste zur Zeit bekannte zu bezeichnen.

Die ersten Erfahrungen in Strassburg, Sommer 1898, schon zeigten dies. Da, wo mit Marconischaltung bei sich gegenseitig theilweise sehendem Geber und Nehmer eben Zeichen wahrzunehmen waren, bestand volle Sicherheit mit der neuen Schaltung. Diese blieb auch dann noch, als eine Kirche oder hohe Häuserblocks den Empfänger vollständig gegen den Sender verdeckten. Die Energie der um die Häuser gebeugten Wellen war noch grösser als die direct von der Marconischaltung aufgefangene. Die Versuche wurden dann im Sommer 1899 in Cuxhaven durch Prof. Dr. CANTOR, und später, bis Herbst 1900, durch Dr. ZENNECK fortgesetzt.

Fig. 28 zeigt das Terrain. In dem schmalen, beiderseits von gefährlichen Sandbänken begrenzten Fahrwasser der Elbemündung liegen als Wegzeiger sowohl, wie theilweise als Wartestätte der Lotsen die vier Feuerschiffe Elbe IV bis Elbe I (vgl. Fig. 29). Am Lande befinden sich „Seezeichen", darunter als besonders frei vorgeschobenes die Kugelbake (Fig. 30); etwa 3 km von letzterer entfernt, in der Richtung nach der Elbemündung zu ein verhältnissmässig niederer Leuchtthurm und in dessen Nähe, etwas mehr landeinwärts, das „Lotsenhaus". In ihm versammeln sich die nach dem Meere bezw. nach dem äussersten Feuerschiff hinausfahrenden Lotsen, nach dort kehren sie zurück, dort wickeln sich alle auf den Lotsendienst bezüglichen Vorgänge, Meldungen u. s. w. ab.

Der Hamburger Staat stellte mit dem äussersten Entgegenkommen alle Oertlichkeiten, wie Seezeichen, Leuchtthürme, Feuerschiffe, für die Versuchszwecke zur Verfügung; von allen Behörden erfuhren wir die wohlwollendste Förderung. Die Be-

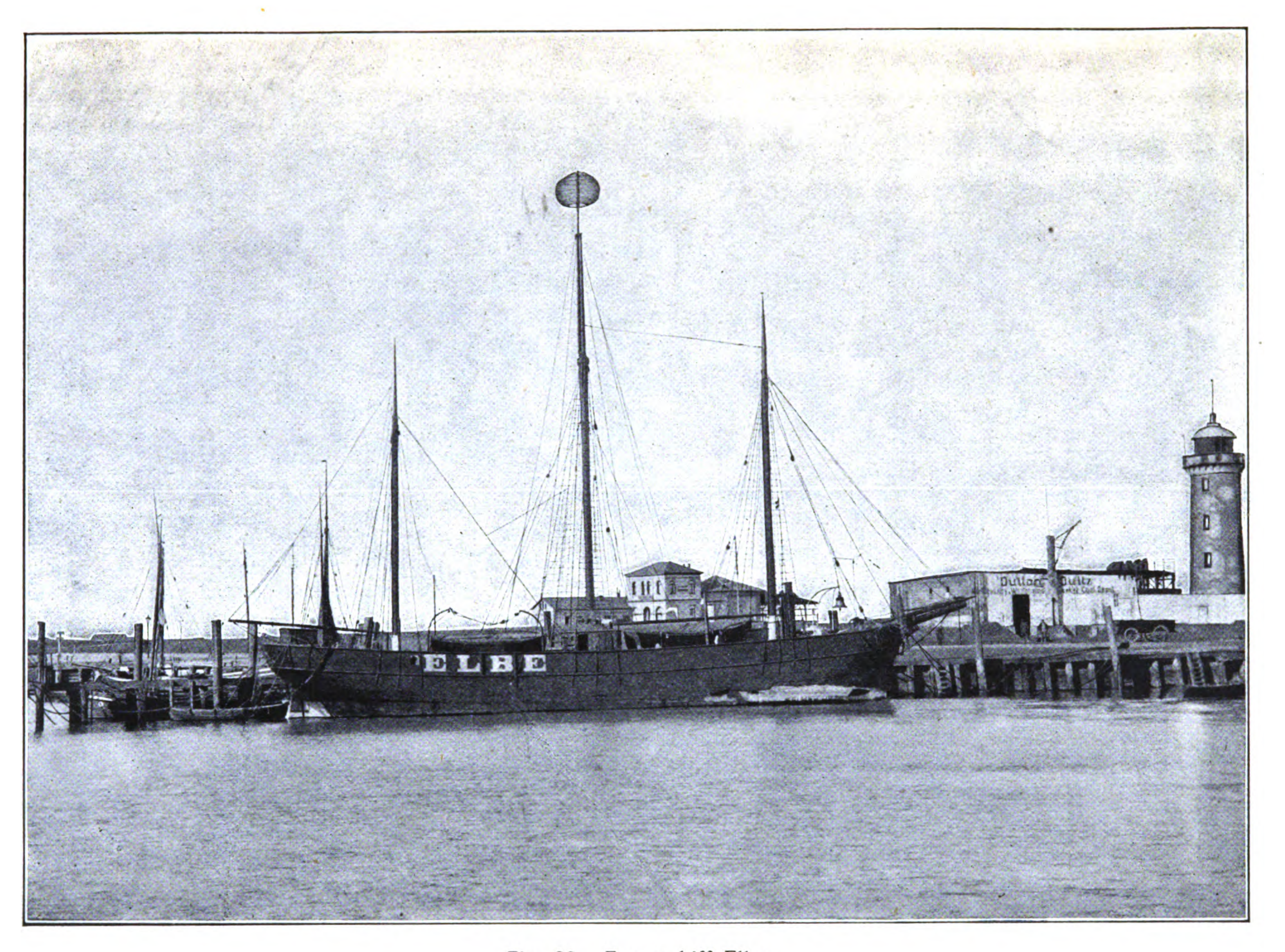


Fig. 29. Feuerschiff Elbe.

deutung der Bemühungen wurde sofort klar erkannt, andererseits wartete man mit Geduld die allmähliche Entwickelung ab.[9]

Und Geduld war thatsächlich nöthig. Bisher hatte ich nur Erfahrungen auf geringe Entfernungen über Land und unter ganz anderen Verhältnissen. Der Sender war dort nur auf eine Länge von wenig Metern über die benachbarten Gebäude hinweggegangen, der Träger für den Empfänger eine Hopfenstange von 6 m Länge gewesen. Dort hatte es sich zunächst darum gehandelt — und dazu war der Thurm des physikalischen Instituts gut geeignet — die Versuchsbedingungen, insbesondere am Sender, zu variiren. Es war dort oberes und unteres Ende des Gebers gleich leicht zugänglich; für die Praxis musste man damit rechnen, dass meist nur das untere Ende zur Verfügung stehe. Auf diesen Zweck hin wurden die Methoden durchgearbeitet. Aber trotzdem — konnten die Anordnungen, die bei den Versuchen über Land sehr hoffnungsvoll erschienen, nicht über Wasser hin wesentlich schlechter wirken, um so mehr, als sie auf eine Mitwirkung der Erde Verzicht leisteten?

Die ersten Versuche schon zeigten das Unbegründete der Befürchtungen. Aber trotzdem ging es nur langsam voran. So anregend für mich die Beobachtungen in Strassburg gewesen waren, wo man in Anlehnung an die Mittel eines gut ausgerüsteten Instituts den Laboratoriumsversuch auf grössere, aber doch immerhin noch leicht zugängliche Entfernungen ausdehnte, wo die Versuchsbedingungen leicht und rasch variirt werden konnten, so dass Alles mehr einem grösseren wissenschaftlichen Experimente glich, so viel zeitraubende, abstumpfende Widerwärtigkeiten stellten sich hier in den Weg. Der Seewind

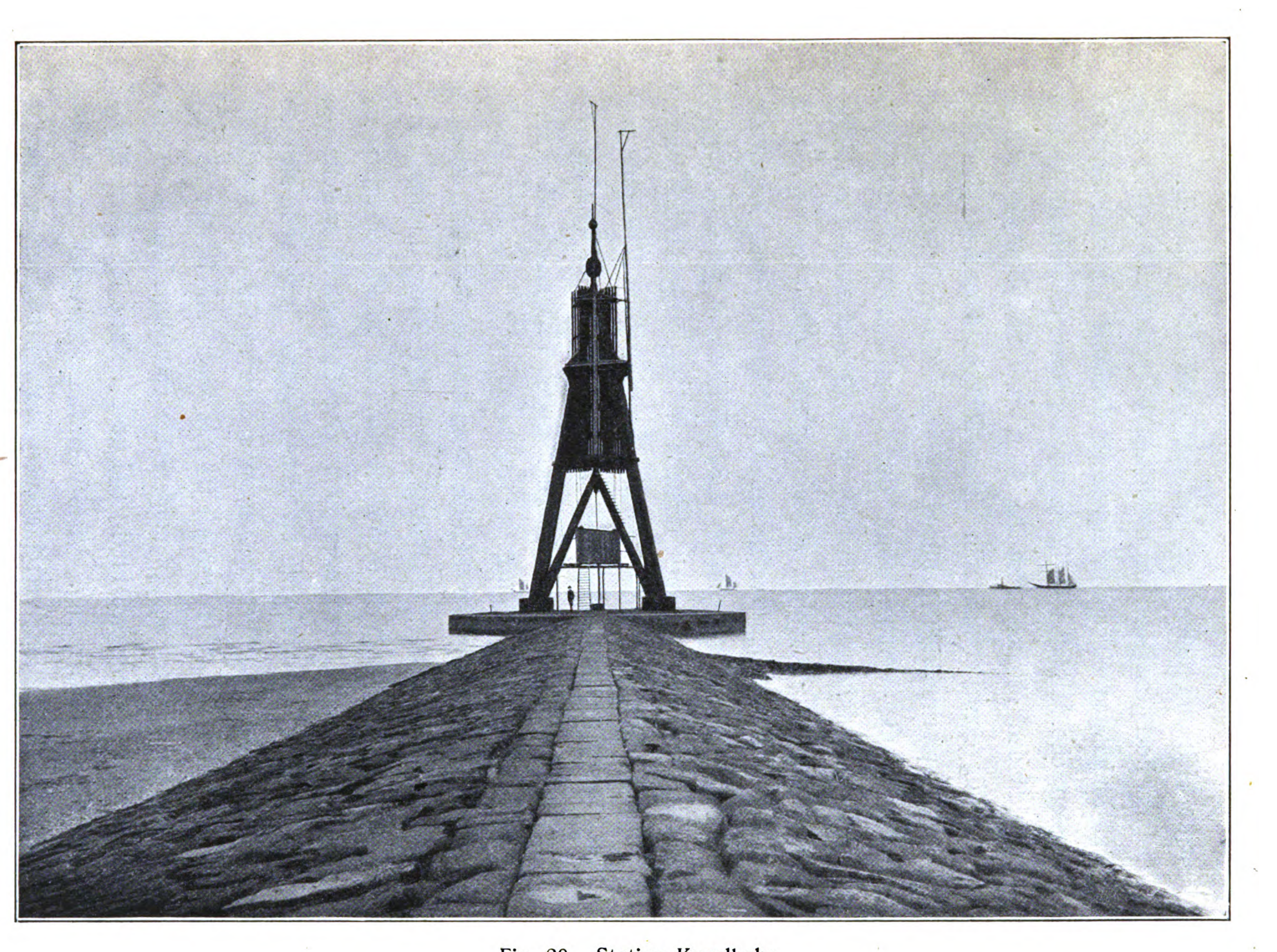


Fig. 30. Station Kugelbake.

legte sich mit einem ungeahnten Druck schon in einen einzelnen hochgezogenen Draht; kleine Versuchsänderungen, z. B. das Einhängen einer Drahtspule in denselben, konnte Stunden kosten, ehe man den Einfluss auf das Resultat wusste; im entscheidenden Moment riss der Wind die Befestigungen durch, und für den Versuch rein nebensächliche Umstände konnten die Hauptschwierigkeit bilden. Einfallender Nebel verhinderte plötzlich die Verständigung durch optische Signale. Dabei mussten auf Entfernungen von nur 12 km schon meterlange, an Führungen befestigte „Strichflaggen“ benutzt werden. Dies war bei den Anfangsversuchen von Neuwerk nach Kugelbake der Fall. Dabei war die auf der Insel Neuwerk gelegene Station nur während der Ebbezeit erreichbar. Schulung des Personals, zweckmässiges Versuchsprogramm, gegenseitige Verständigung über die Resultate, Errichten von Stationen und tausenderlei Anderes konnten erst allmählich kommen und nahmen kostbare Zeit hinweg.

Die Abbildung der Station Kugelbake giebt eine Erläuterung; die Versuchshütte hängt, wie ein Käfig, in der Luft. Warum? Ursprünglich stand sie auf der Plattform unterhalb des Gerüstes. Eines Tages kam eine Springfluth, welche die Plattform überspülte. Als sie sich verlaufen hatte, fand sich die Hütte einige Meter verschoben, aber alles in ihr war wesentlich intact geblieben. Sie wurde jetzt mit Seilen und Ketten an den mächtigen Balken des Signalgerüstes verankert. Aber es kam eine zweite mächtigere Fluth, welche die Hütte mit allen Apparaten in das Meer trug. Viele Vorrichtungen, welche zum Vergleich des Werthes verschiedener Beobachtungsreihen gedient

hatten, waren damit verloren. Die jetzige Anlage, welche ihre Form dem Rath eines befreundeten Technikers verdankt, hat sich seitdem gehalten; aber doch haben die starken Stürme des letzten Winters das Wasser hoch hineingetrieben und viel geschadet.

Noch mehr Zeit kosteten die Installationen auf den Feuerschiffen. Es ist oft Wochen lang nicht möglich, Apparate auf dieselben zu bringen; und wird, in ungünstiger Jahreszeit, ein guter Tag versäumt, so kann man nochmals auf die gleiche Wartezeit angewiesen sein.

So ideal das Versuchsterrain erscheint, in vielen Beziehungen auch ist, die Schwierigkeiten für Anfangsversuche sind nicht zu unterschätzen.

Trotzdem brachte der Sommer 1899 einen stetigen Fortschritt. Es handelte sich u. A. zunächst um die Aufgabe, die günstigsten Abgleichungen zwischen Schwingungs- und Senderkreis ausfindig zu machen und in für die Praxis brauchbare Arbeitsmethoden umzugestalten. Als der Saisonverkehr zwischen Helgoland und Hamburg aufhörte, wurden Versuche vom fahrenden Schiff nach Station Kugelbake (Fig. 30) in Angriff genommen. Die Nordseelinie stellte in der entgegenkommendsten Weise den Dampfer „Silvana“, (Fig. 31) welcher den Winterdienst von Cuxhaven nach Helgoland in zwei wöchentlichen Hin- und Rückfahrten versieht, zur Verfügung. An seinem Vordermaste wurde der Sender, welcher etwa 15 m über Deck ging, aufgezogen; er gabelte sich in der Nähe des Endes in zwei Theile, welche noch unterhalb des Mastes endeten. Die Versuchszeiten waren, gerade für die besonders interessanten Entfernungen sehr kurz, und

Fig. 31. Dampfer „Silvana“ der Nordseelinie.

so dauerte das Erkennen und die Beseitigung mancher verhältnissmässig geringfügigen technischen Uebelstände recht lange. Andererseits boten die oft sehr stürmischen Ueberfahrten auf dem stark bewegten kleinen Dampfer ein gutes praktisches Kriterium. Das schliessliche Ergebniss war, dass regelmässig auf mindestens 32 km fehlerfreie Telegramme, auf mehr denn 50 km noch Zeichen erhalten wurden. Sie bewiesen, dass der Nachtheil kleiner Senderhöhen durch eine entsprechend grössere Energieausgabe ausgeglichen werden kann.

Gegen Ende des Winters 1899/1900 wurden auch die Feuerschiffe Elbe II und Elbe I installirt; die Versuche gingen gut und glatt in allen Wettern und bei allen Lagen der Schiffe. Der Leuchtthurm Neuwerk war mit Geber- und Empfängerstation versehen, und es sollte nun zu einer Verbindung von Helgoland mit Cuxhaven geschritten werden, nachdem durch das Entgegenkommen der zuständigen Behörde und dank insbesondere der Freundlichkeit des Commandeurs von Helgoland, Admiral von Schuckmann, die Erlaubniss zur Errichtung eines 30 m hohen Mastes auf dem Oberland der Insel gegeben war. Die aber gleichzeitig gewünschte und praktisch sehr wichtige definitive Herstellung einer Verbindung mit Elbe I kostete bei den schon erwähnten äusseren Schwierigkeiten mehr Zeit, als man je in Rechnung gesetzt hatte, und so zogen sich die Helgoländer Versuche bis in den Spätsommer hinaus.

Bei ihnen wurden nochmals Parallelversuche gegen Marconischaltung vorgenommen.[10] Die Masthöhen waren 29 und 31 m. Alle mit der beschriebenen inductiven Erregung versendeten Zeichen, gut dimensionirte Apparate vorausgesetzt, kamen an;

mit Marconischaltung dagegen wurden von etwa 450 Zeichen kein einziges auf der Empfangsstation beobachtet; dabei wurde die Energiezufuhr bei ihr bis zur äussersten erreichbaren Grenze getrieben. Die übrigen Bedingungen waren dabei streng identisch.

Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht der Resultate:

		Erreichte Entfernung (E)	Masthöhen		Product (P) der Masthöhen	Relative Tragweite $\frac{E}{P} 10^3$ [a]
Methode der inductiven Ladung	Silvana-Kugelbake	32 km	15 m	29 m	435	74
	Elbe I- „	32	30	29	870	37 [b]
	Helgoland- „	63	31	29	900	69
Marconigeber	Borkum-Borkum Feuerschiff	32	40	38 [c]	1520	21
	Nordamerik. Kriegsm.	13,5	13,5	39	526	25

[a] Dem Product der Masthöhen soll ungefähr die erreichbare Entfernung proportional sein.

[b] Die thatsächliche Entfernung ist hier viel kleiner als die erreichbare; daher die kleinere relative Tragweite.

[c] Die Masthöhen sind, jedenfalls für Borkum-Feuerschiff, wie ich gehört habe, später erniedrigt worden; genauere Zahlen kenne ich nicht.

Wenn man die zu Grunde gelegte Regel, nach welcher die relative Tragweite berechnet ist, auch gewiss nicht wörtlich nehmen darf, noch wird, so zeigt doch die Tabelle, dass die „Tragweite“ des hier besprochenen Senders trotz unempfindlichen Empfängers diejenige des Marconisenders (unter Benutzung empfindlicheren Empfängers) nach dem vorliegenden Thatsachenmaterial etwa um das $2^1/_2$ fache übertrifft.

Die Grenzen der Leistungsfähigkeit sind damit aber noch keineswegs erreicht; die Methode gestattet noch eine grosse Zahl günstiger Combinationen. So lässt sich die ausgestrahlte Energie steigern, indem man mehrere Primär- und ebenso die Secundärspulen parallel schaltet und gleichzeitig die Capacität der Condensatoren erhöht. Richtig dimensionirte Apparate lassen sich auch hinter einander schalten und dadurch die Spannung vergrössern.

Die Stärke der Koppelung zwischen den beiden Schwingungskreisen einerseits, die relative Dämpfung andererseits bestimmt die Reinheit der Schwingungen im Sender. Je nachdem man stärkere Impulse oder reinere Schwingungen wünscht, ist hier nach theoretisch klar gelegten Principien und auf Grund von experimentell messbaren Grössen die Dimensionirung zu treffen.

Der Aufgaben sind noch zahlreiche, von praktischem Werth und von hohem wissenschaftlichen Interesse. Der grösste Theil derselben ist jetzt bereits der Rechnung und dem messenden Experimente zugänglich. Es ist hier nicht der Ort und auch noch nicht die Zeit, auf die neuen Methoden, welche zum Studium der Erscheinungen sich bereits entwickelt haben, einzugehen.

III. Ueber abgestimmte Telegraphie.

(Nach einem Referate über den in der Oberrheinischen Gesellschaft für Luftschiffahrt gehaltenen Vortrage in der „Strassburger Post“ vom 1. Februar 1901. Wir werden uns für den Augenblick auf diese Mittheilungen beschränken; ein Eingehen auf Einzelheiten ist zur Zeit noch nicht möglich.)

Während MARCONI (vgl. Anmerk. 3) mit HERTZ'schen, d. h. sehr kurzen Wellen zu arbeiten glaubte, wurde in klar ausgesprochener Weise zum ersten Mal mit unzweifelhaft langen electrischen Wellen bei den mitgetheilten Versuchen operirt. Bei ihnen werden die Entladungen von Condensatoren in Inductionsspulen benutzt, die den Sender entweder direct speisen oder ihre Energie auf den funkenlosen Sender inductiv übertragen. Damit werden sehr energische, reine, schwach gedämpfte Schwingungen erzeugt; gleichzeitig wurde durch diese Versuche das Gebiet der verwendbaren Wellen ausserordentlich erweitert. Diese Wellen, wie sie jetzt auch SLABY im engen Anschluss an die oben beschriebenen Anordnungen benutzt hat, erfüllen die Grundbedingung, die für ein electrisches Abstimmen von einem Sender auf einen Empfängerapparat nöthig ist. Die Hoffnungen, die man auf diese Schwingungen setzen konnte, haben sich inzwischen immer mehr erfüllt, nicht nur bezüglich der grösseren Trag-

fähigkeit, sondern auch bezüglich der Verwendung für „abgestimmte“ Telegraphie und damit gleichzeitig für verbesserte Empfängeranordnungen. Das Problem der Abstimmung kann in drei verschiedenen Arten gelöst werden: 1) mittels mechanisch angeordneter, durch geeignete correspondirende Signale ausgelöster, isochron auf beiden Stationen laufender Uhrwerke, 2) auf akustischem, 3) auf elektrischem Wege. Das dritte Verfahren, von dem hier speciell die Rede sein soll, ist die electrische Abstimmung. Schnell verklingende Schwingungen, wie sie ohne Benutzung von Condensatoren im Sender entstehen, bieten nach allem, was man aus wissenschaftlicher Erfahrung weiss, wenig Aussicht. Sie regen nämlich immer, welches auch ihre Eigenschwingung sei, einfach durch ihren kurzen Impuls einen Resonatorkreis zu dessen Eigenschwingung an, ähnlich wie der Schlag eines Hammers in jeder Saite ihren Eigenton hervorruft. Anders aber ist es, wenn, wie hier, die Wellen den Empfänger längere Zeit hindurch anregen. Dann entstehen, wie experimentell vorgeführt wurde, scharf ausgesprochene Resonanzen. Eine Geisslerröhre leuchtete in einem auf grössere Entfernung durch Flaschenentladungen erregten Kreise hell auf, sobald er abgestimmt war, schwächer, wenn die Stimmung geändert wurde. Ersetzt man das leuchtende Rohr durch einen Cohärer oder einen Mikrophoncontact, so kann man auf dieser lange bekannten Eigenschaft offenbar eine abgestimmte Telegraphie aufbauen. Diese Vorrichtung zeigt sich aber empfindlich gegen äussere Eingriffe, wie sie in der Praxis nicht zu vermeiden sind; auch ist ihr Resonanzbezirk noch nicht in der nöthigen Schärfe ab-

gegrenzt. Die Aufgabe wurde daher in anderer Weise angegriffen. Sie besteht darin, abzustimmen und gleichzeitig die Empfängerwirkung zu erhöhen. Sie kann in zwei Theile zerlegt werden; einen ersten, die Energie, die ein Empfänger aufnimmt, möglichst gross zu machen — davon wird in diesem Falle abgesehen. Wird aber nach dieser Eingrenzung der Aufgabe die vom Empfänger angesammelte Energie einmal als gegeben betrachtet, so dass ihr ganzes Quantum nicht mehr gesteigert werden kann, so bleibt nur übrig, sie auf den empfangenden Apparat zu concentriren, so dass sie möglichst ausschliesslich ihm zu Gute kommt. Es verhält sich damit ähnlich wie mit dem Lichte. Das Sonnenlicht, das auf eine Linse fällt, führt ihrer Oeffnung pro Secunde eine gewisse Energie zu. Diese lässt sich nicht vermehren, aber sie lässt sich concentriren. In ähnlicher Weise, nur ins Electrische übersetzt, wirken die neuen Anordnungen. Versuche mit denselben, welche vorgeführt wurden, zeigten wie die electrische Energie, die den Empfänger passirt, auf den zwanzig- und mehrfachen Wert concentrirt werden kann. Die Energie wird in Form electrischer Energie localisirt. Man kann sie nun in Wärme verwandeln und sie in dieser Form auf einen darauf reagirenden Empfänger einwirken lassen; oder man kann sie in die für den Cohärer günstigste Form umwandeln und diesen an die geeignetste Stelle bringen, so dass er sich ihrer Wirkung, mag er auf Strom oder auf Spannung ansprechen, nicht entziehen kann. Unter Vorführung akustischer Analogien wurde gezeigt, wie ausserordentlich scharf die Apparate auf eine gegebene Schwingung abgestimmt werden können. Sehr geringfügige Aenderungen der Abstim-

mung setzten die in dem Empfangsapparate concentrirte Energie sofort ganz ausserordentlich herab. Nur in dem abgestimmten Theile des Empfängers localisirt sich die zugehörige Energie; den anderen Theilen wird sie entzogen und Empfängertheile, die nicht auf die gewünschte Schwingung abgeglichen sind, werden dadurch gleichzeitig vor unbeabsichtigter Einwirkung geschützt. Damit ist natürlich auch das Problem der sogenannten Multiplextelegraphie, d. h. der gleichzeitigen Aufnahme mehrerer Depeschen, die von verschiedenen Wellenlängen herrühren, durch denselben Empfängerdraht in einer neuen und offenbar sehr vollkommenen Weise gelöst.

IV. Schlussbetrachtungen.

Fragt man nach den Aussichten, dem praktischen Werthe und der voraussichtlichen Entwickelung der drahtlosen Telegraphie, so wird man nach dem heute möglichen Ueberblick ungefähr Folgendes sagen:

Der Werth als ein verbesserter Signaldienst, der unabhängig ist von jedem Wetter, von Tageszeit, von Nebel, Regen und Schnee ist bereits anerkannt. Dieser wird für viele Fälle bleiben, selbst wenn die Hoffnung, die Stationen von einander unabhängig zu machen, sich nicht in dem Maasse, wie man es wünschen möchte, erfüllen sollte.

Starke Geberwirkung — abgestimmte Empfängerwirkung werden zunächst die Ziele sein. Werden sie auch nur innerhalb mässiger Grenzen erreicht, so ist ausreichende Gelegenheit zur praktischen Verwendung vorhanden. Es giebt Küsten genug, gegenüber gelegene Inseln, wenig bevölkerte Gegenden, wo eine Kabelverbindung nicht lohnt, einer Telegraphenleitung von Stürmen, wilden Thieren oder (unverständigen) Menschen Gefahr droht. An der Verwerthung für militärische Zwecke besteht in allen Staaten grosses Interesse.

Als Illusion wird man es aber — voraussichtlich für alle Zeiten — bezeichnen müssen, wenn man hofft, damit die Drahttelegraphie beseitigen zu können. Wie die sicherste schriftliche Verbindung ein geschlossener Brief ist, so giebt der Draht da, wo er anwendbar ist, die sicherste discrete Verbindung zweier Punkte. Das Ziel, dass eine Depesche nicht von einem Unbefugten mit aufgenommen werden kann — ein Schicksal, welchem bekanntlich auch die Drahttelegraphie unterliegen kann — ist nicht aussichtslos, bis jetzt aber nicht erreicht.

Man legt einem Kinde die besten Wünsche in die Wiege, man freut sich, wenn es sich denselben entsprechend entwickelt — wer aber vermag nach fünf Jahren schon mit Sicherheit zu sagen, wie es als Mann sich bewähren wird? Es wird sich auswachsen und etwas leisten, wenn es auch keinen Herkules giebt.

Anmerkungen.

[1] (S. 15.) Eine andere Auffassung, welche den beobachteten Thatsachen genügt (dem Fehlen scharfer Interferenzen bei Röntgenstrahlen, sowie der an Beugungserscheinungen erinnernden Vertheilung von Röntgenstrahlen, welche einen Spalt passirt haben), ist von A. SOMMERFELD (Zeitschr. für Mathematik und Physik, Bd. 46. 1901) mathematisch durchgeführt worden. Die Annahme kurzer Impulse genügt dazu; die Frage nach der Schwingungsdauer der Röntgenstrahlen bleibt dann offen.

[2] (S. 15.) Die ersten Beobachtungen dieser Art rühren, wie ich aus einem Referate von SCHLABACH (Physikalische Zeitschr. 2. Jahrg. 1901 S. 374 u. 383) ersehe, schon von MUNK AF ROSENSCHÖLD (POGG. Ann. **34**, 437. 1835) bezw. schon von PRIESTLEY her. ROSENSCHÖLD benutzte fühlbare Flaschenentladungen. Ohne von diesen Versuchen Kenntniss zu haben, fand der Verfasser gelegentlich anderer Untersuchungen (WIED. Ann. Bd. 1, S. 95. 1877), dass ganz schwache Induktionsstösse, welche in einer kleinen eisenfreien Spule hervorgebracht wurden, den Widerstand von lockerem Metallfeilicht änderten. „Röhren voll Metallfeile zeigten gleichfalls Widerstandsänderungen durch den Inductionsstrom. Der durch den Inductionsstrom geänderte Widerstand blieb auch für den constanten Strom bestehen, war also durch Contactänderung veranlasst."

Dass diese Widerstandsänderungen ein so ausserordentlich empfindliches Reagenz auf schnelle elektrische Schwingungen sind, wurde aber erst durch BRANLY entdeckt. Woher die Erscheinung rührt, weiss man noch nicht. Dass bei stärkeren Erregungen Fünkchen auftreten können ist natürlich und beobachtet; der Schluss dagegen, dass solche auch noch dann vorhanden wären, wenn man sie nicht mehr sieht, natürlich nicht bindend. Diese Fünkchen sollten nach Ansicht der einen ein schwaches Zusammenschmelzen (Fritten) bewirken. Nach anderer Auffassung besteht die Wirkung in der

Entfernung von oberflächlichen Gasschichten, nach wieder anderer in einer Bildung neuer Molekülsorten (Allotropirung). Wenn Gas- oder Flüssigkeitsschichten eine Rolle spielten, so sollte man erwarten, dass ein auf Empfang gestellter, aber noch nicht erregter Cohärer, mit sehr schwachen Strömen untersucht, Abweichungen vom OHM'schen Gesetz zeige, keinen constanten scheinbaren Widerstand. Nach Versuchen, welche der Verfasser in seinem Institut durch Herrn MÜLLER ausführen liess, ist dem aber nicht so. Demnach sollte man annehmen, der grosse Widerstand des unerregten Cohärers bestehe lediglich im Ausbreitungswiderstand und dieser, wahrscheinlich also die Grösse der Contactfläche, ändere sich durch die Erregung; vielleicht in Folge einer durch JOULE'sche Wärme hervorgebrachten Deformation, erhöhtem gegenseitigen Druck und einem reibungsartigen Haften.

Dieser Ansicht widerspricht jedoch, dass nach Versuchen von Hrn. v. SIGSFELD (mündliche Mittheilung) eine Contactstelle, welche einmal erregt wurde (aber möglicherweise sehr stark?), die Eigenschaft Contact zu geben, längere Zeit, auch nach mechanischem Abheben, beibehält.

Nach KÖPSEL's Auffassung (mündliche Mittheilung) liegt die wirksame Stelle im Cohärer nur an den Electroden, nicht in den Pulvercontacten. In Uebereinstimmung damit stehen die Erfahrungen ZENNECK's, dass man 1) sehr gute Cohärer erhält, wenn zwischen den beiden Electroden nur eine Schicht Metallkörner sich befindet — hier muss also der wirksame Contact derjenige von Electrode und Pulver sein; 2) dass man am sichersten durch Erschütterung der Electrode entfrittet. Wenn man von zwei in das Cohärerpulver eingeführten Sonden zu einem Electrometer abzweigte, würde sich diese Ansicht leicht prüfen lassen.

Eine Aenderung des gegenseitigen Druckes, etwa zwischen Pulver und Electrode, beim Erregen habe ich nicht nachweisen können. Doch sind die Versuche nicht genügend variirt und verfolgt worden.

[3] (S. 19.) MARCONI gab früher Schwingungen von 250.10^6 pro Sekunde an. Vergl. dagegen ASCOLI, Elettricista. VI. 1897. Nr. 8. Beibl. **22**. S. 610. 1898.

[4] (S. 21.) E. RATHENAU, Electrotechnische Zeitschrift 1894. S. 616; STRECKER, Electrotechnische Zeitschrift XVII. 1896. S. 106. — Von Einzelheiten der Versuche und Resultate seien angeführt: RATHENAU benutzte zwei Platten

von je 15 qm Oberfläche; Abstand der Primärelectroden 500 m; Secundärelectroden: Zinkplatten in 50 bis 100 m Abstand. Erreicht wurden $4^1/_2$ km, womit man aber noch nicht am Ende der Wirkungsmöglichkeit war. Die beiden Strecken befanden sich wesentlich in der günstigsten relativen Orientirung in Wasser. Die STRECKER'schen Resultate zeigt die folgende Tabelle:

Primäre Leitung . . .	950 m	950 m	1000 m	3000 m
Secundäre Leitung. .	250 m	900 m	750 m	1200 m
Erreichte Entfernung	3,8 km	5,7 km	10 km	17 km
Bemerkung	—	Erdleitung 6 und 10 m tief	Erdleitung 19 m tief	Nachts; 14 bis 19 Ampère

Es wurde also rund die 10fache Entfernung der Geberelectroden erreicht.

JOHNSTON erhielt in Wasser mit beiderseits 14 m Abstand und Strom von 10 Bunsen mittels Telephon auf 180 m Zeichen, also auf ca. 13fache Entfernung der primären Electroden, woraus STRECKER auf eine relativ sehr grosse Tragweite schliesst.

[5] (S. 31.) Nach den theoretischen Betrachtungen von BIRKELAND (vgl. E. COHN, Das electromagnetische Feld. Leipzig, 1900. S. 413 ff.) werden Wellen, wie sie in meinen Versuchen benutzt werden, beim Fortschreiten im absorbirenden Mittel deformirt. Immerhin erscheint es nicht unmöglich Resonanzerscheinungen im Empfänger zu erzielen. Längere Zeit andauernde electrische Oscillationen, wenn ihre Frequenz auch nur in der Grössenordnung von 100 000 sich bewegt, zu deren einfacher Herstellung jetzt Aussicht vorhanden ist, würden eine erfolgreiche Verwendung der Methoden möglich erscheinen lassen.

Bezüglich der Absorption und der danach zu wählenden Schwingungszahlen vgl. A. EICHENWALD, WIED. Ann. **62.** S. 571. 1897. E. LAGRANGE (Compt. rend. **132**. S. 203. 1901) hat nachgewiesen, dass die vom unteren Ende eines Marconisenders dem Boden zugeführten Wellen nur bis zu sehr geringen Tiefen (weniger als $^1/_3$ m) merklich in denselben eindringen.

Trotzdem scheint eine mir schon im Herbst 1899 von Hrn. M. CANTOR mündlich mitgetheilte Idee sehr beachtenswerth, nämlich alles statt in Luft

sich im Boden abspielen zu lassen, also einen verticalen Sender und desgleichen Empfänger in denselben hinein zu treiben. In ganz trockenem Boden scheint mir theoretisch kein Bedenken dagegen vorzuliegen. Dies könnte z. B. praktisch in Frage kommen, wenn die französische Regierung, wie angegeben worden ist, daran denkt, durch drahtlose Telegraphie eine Verbindung zwischen den einzelnen Militärstationen bis in die Sahara hinein herzustellen. Es würden damit auch die dort voraussichtlich sehr starken atmosphärischen Störungen vielleicht wegfallen.

[6] (S. 32.) Mit dem Einsetzen des Flammenbogens (statt eines scharf abgebrochenen Funkens) nimmt die Fernewirkung sofort stark ab; die electromagnetische Energie des Senders fällt, wie sich experimentell nachweisen lässt. Diese störende Erscheinung tritt auf, wenn die Electricitätszufuhr zu gross ist. Sie erklärt sich daraus, dass mit dem Einsetzen des Funkens nicht sofort, wie die Theorie der oscillirenden Entladung voraussetzt, das Potential abfällt. Es wird dann vielmehr durch die nachgelieferte Electricität für einige Zeit das Potential auf wesentlich gleicher Höhe gehalten, was während derselben Zeit die Entstehung eines constanten Stromes bewirkt. Diese Energie ist von vornherein verloren; sie tritt zum grössten Theil als Wärme in der Funkenstrecke auf und scheint die Luft daselbst der Art leitend zu machen, dass auch mit dem Momente, wo das Potential abfällt, eine starke Dämpfung der dann entstehenden Schwingungen stattfindet; oder dass in dem leitenden Gase das Feld zwischen den Funkenkugeln noch abfällt bis erst bei einem kleineren, als dem der Schlagweite entsprechenden Potentialunterschied, Oscillationen beginnen. Die Wirkung des Funkenabblasens, sei es durch mechanische, sei es durch magnetische Kräfte erzielt, erklärt sich daraus. Man vergrössert dadurch die Länge und somit (welchen Begriff man auf diesen Fall wohl einigermaassen anwenden darf) den Widerstand des leitenden (ionisirten) Funkenkanals und zerreisst ihn dann vollständig. Der Funkenkanal wirkt wie ein biegsamer, mässig guter Leiter.

[7] (S. 36.) Seitdem MARCONI erst durch Erdung eine praktisch brauchbare Fernewirkung erzielte, ist es fast als Axiom betrachtet worden, dass Erdanschluss nötig sei, jedenfalls ist wohl kaum eine Geberanordnung probirt worden, ohne gleich dieses Hülfsmittel versuchsweise heranzuziehen. Bei der directen Sendererregung aus dem Flaschenkreis bewährt es sich.

Man kann es anwenden, man braucht es aber nicht. Vielmehr erreicht man das Gleiche, wenn man die Anordnung symmetrisch gestaltet, d. h. an einer dem Senderanfang symmetrisch correspondirenden Stelle einen dem Sender gleichen (oder gleichwirkenden) Draht an den Condensatorkreis anlegt. Es bilden sich dann auf beiden Drähten gleichzeitig Schwingungen aus; wenn z. B. AB (vgl. Fig. 22 und 23) mit positiver Ladung versehen ist, oscillirt gleichzeitig das entsprechende Quantum negativer Electricität auf dem anderen Drahte und wenn beide Drähte — im einfachsten Falle — genau gleiche Länge besitzen, bleibt der Schwingungskreis frei von superponirten störenden Potentialschwankungen.

Es repräsentirt dies gewissermaassen den Uebergang von der ersten unsymmetrischen HERTZ'schen Anordnung zur symmetrischen LECHER'schen.

Ist der Schwingungskreis in Resonanz mit den Ansatzdrähten, so entstehen auf letzteren sehr reine Wellen mit ganz scharf ausgesprochenen Knoten und Bäuchen, von welchen man — wenn die Enden frei in Luft aufhören — auf jedem der Ansätze eine ungerade Anzahl Viertelwellenlängen herstellen kann. Diese Wellen lassen sich electrisch ebenso einfach verfolgen wie direct sichtbare Seilwellen. Die Ansatzdrähte brauchen nicht gleich zu sein; der eine kann z. B. eine Viertelwellenlänge, der andere drei Viertelwellenlängen betragen. Es lässt sich auch leicht nachweisen, dass die Wellen allmählich durch Resonanz entstehen. Für die Anordnung der Schwingungen auf dem ganzen System gilt dabei offenbar ein Satz, welcher ein Analogon zum mechanischen Schwerpunktsatz darstellt. „Erdung" ist dabei ganz unnötig.

„Erdung" ist überhaupt ein schlecht definirter Begriff. Man hängt in der Wirkung derselben ab von der Länge, Beschaffenheit u. s. w. der Drähte sowie der Vollkommenheit der eigentlichen Erdverbindung. Es kann vorkommen, dass z. B. eine Erdung selbst in einem Knotenpunkte die Senderwelle nicht gut zu Stande kommen lässt, während sie sofort mit voller Stärke auftritt, wenn an der geerdeten Stelle wieder die Symmetrie schaffende zweite Wellenleitung angeschaltet wird.

Es ist eine gleichfalls bekannte Erfahrung, dass auch im Empfänger die Erdung nicht nöthig ist; es genügt z. B. wenn vom Cohärer noch eine Drahtlänge isolirt weiter geführt wird. Um statische Ladungen zu eliminiren,

empfiehlt es sich, durch einen grossen inductiven oder OHM'schen Widerstand (etwa von der Ordnung eines angefeuchteten Bindfadens) zur Erde zu gehen.

Die Schwingungszahl des Condensatorkreises lässt sich durch eine Anzahl parallel geschalteter, dicker, am besten nicht zu nahe an einander gelegener Schliessungsbögen bei verhältnissmässig grosser Capacität sehr in die Höhe treiben. Dasselbe kann man durch einen dem Condensator parallel geschalteten inductionslosen Widerstand, wenn auch mit Wirkungsverlust, erreichen. Diese geschlossenen Ströme üben eine äusserst kräftige Inductionswirkung auf nicht zu entfernte, in Resonanz gebrachte gleichfalls geschlossene Leiterkreise aus. Die rein electrodynamische Wirkung derselben, der Verlauf der Magnetkraftlinien, Schirmwirkungen u. s. w. lassen sich damit sehr auffallend demonstriren, wie ich in meinem Januar-Vortrag zeigte. Auf kürzere Entfernungen können mit Hülfe dieser Anordnungen auch nahezu abgestimmte und in gewissem Sinne gerichtete telegraphische Uebertragungen erzielt werden. Die Kräfte nehmen aber, wie bekannt, sehr schnell mit wachsender Entfernung ab.

Die inductive Erregung bietet eine ähnliche Vielseitigkeit der Anordnungen. Für gewöhnlich wird der ganze Senderkreis (Spule plus Sender) eine halbe Wellenlänge darstellen. Der Potentialknoten braucht nicht am Anfang des freien Senderdrahtes zu liegen, sondern kann in denselben hinausgerückt sein. Auf diese Weise nähert man sich dem Falle, dass eine halbe Wellenlänge zur Strahlung benutzt wird.

Man kann den Sender auch derart dimensioniren, dass er (wieder zusammen mit der Spule) eine ganze Wellenlänge darstellt. Die Erregerspule liegt dann am besten an einem Strommaximum oder wenigstens in der Nähe

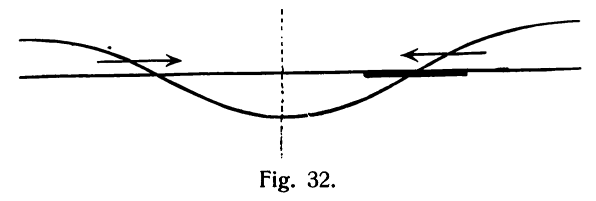


Fig. 32.

desselben; oder sie ist vertheilt auf zwei Stellen in der Nähe solcher Punkte (vgl. Fig. 32, wo die Ordinaten Spannungen, die Pfeile Strömungen bedeuten; der dicke Strich soll diejenige Drahtstelle andeuten, auf welche die inductive Erregung wirkt).

Die Verwendbarkeit der inductiven Erregung um starke, schwach gedämpfte schnelle Schwingungen einem cylindrischen Leiter zuzuführen, welche er aus einem Brennpunkte ausstrahlen kann, ist offenbar. —

[8] (S. 40.) Diese Zahlen beweisen den Einfluss der Funkendämpfung. Bei der Marconischaltung erschöpft sich bald alle weiter zugeführte Energie im Funken; aber auch bei Flaschenschaltung steigt die Senderenergie nicht proportional der im Condensator angesammelten aus der Schlagweite beurtheilten Energie. Man sollte demnach, auch bei Flaschenentladung, nicht über etwa 1,5 bis 2 cm Schlagweite gehen und grössere Energiemengen lieber durch gesteigerte Capacität herstellen, soweit dies die anderen Bedingungen zulassen. Eine „funkenlose" Telegraphie zu erzielen, d. h. einen Schwingungskreis ohne jede unnöthige Dämpfung, wäre das Wünschenswertheste. Dazu ist jetzt Aussicht vorhanden.

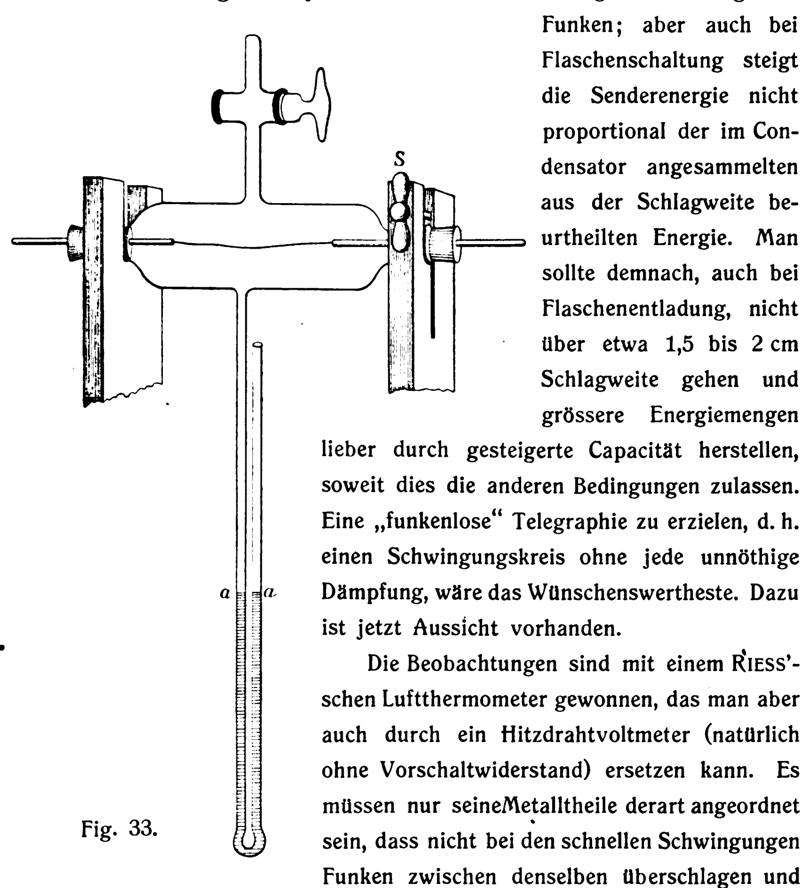


Fig. 33.

Die Beobachtungen sind mit einem RIESS'schen Luftthermometer gewonnen, das man aber auch durch ein Hitzdrahtvoltmeter (natürlich ohne Vorschaltwiderstand) ersetzen kann. Es müssen nur seine Metalltheile derart angeordnet sein, dass nicht bei den schnellen Schwingungen Funken zwischen denselben überschlagen und der Apparat nicht als Capacität stört. Solche Instrumente geben, an verschiedene Stellen einer offenen Schwingungsbahn gebracht, direct den daselbst herrschenden Mittelwerth des Quadrates der Stromstärke und lassen damit unmittelbar die relativen Stromverhältnisse der Welle messen; sie

zeigen z. B. bei einem Sender mit inductiver Erregung ein Maximum in der Nähe der Spule, abnehmenden Werth in der Mitte des Drahtes, den Ausschlag Null am isolirten freien Ende. Wird daselbst an das Instrument wieder ein Stück Draht angesetzt, so steigt der Ausschlag wieder.

Für gewöhnlich benutze ich das sehr einfache, aber ausreichende Instrument, welches Fig. 33 darstellt. Die Länge des Hitzdrahtes ist etwa 6 cm, sein Durchmesser zwischen 0,2 und 0,05 mm wechselnd. Das für gewöhnlich verticale Steigrohr hat etwa 2 mm lichten Durchmesser. Die Schraube *S* gestattet den Apparat vertical oder geneigt einzuklemmen (in einem Holzstativ, von dem nur der obere Theil hier gezeichnet ist).

Eine für grössere Empfindlichkeit (dünne, lange Drahtspule) geeignete Form mit vertical stehendem Gefässe zeigt Fig. 34.

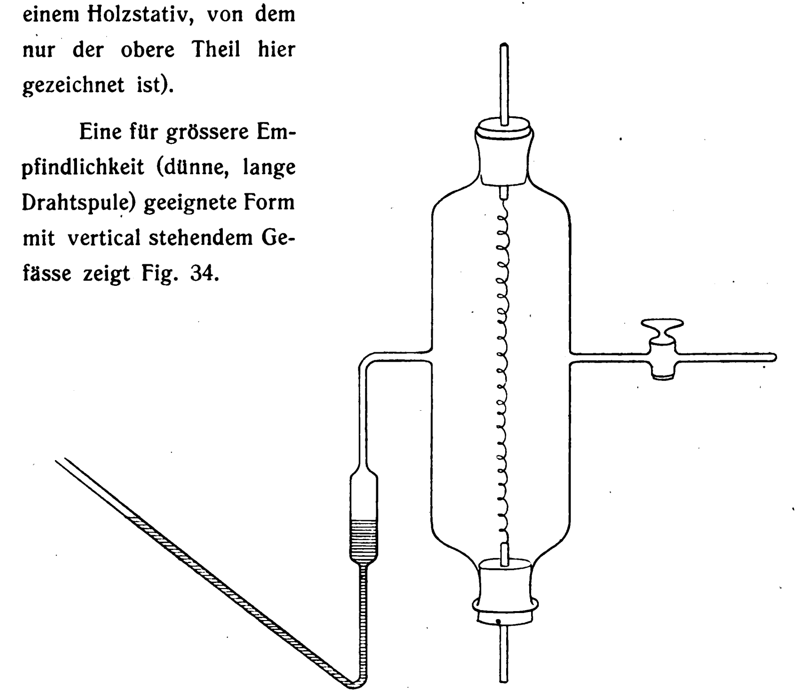


Fig. 34.

Die Instrumente reagiren nicht auf den Ladestrom, und ihre Angaben können daher bei vergleichenden Versuchen, wenn die übrigen Bedingungen jeweils die gleichen bleiben, als ein relatives Maass für die (abwechselnd als

electrostatische und electromagnetische) vorhandene Energie eines electrischen Oscillators betrachtet werden. Sie sind daher auch anwendbar für die Senderschaltung MARCONI's. Von Interesse ist dabei besonders der Einfluss einer Erdung, welche die Energie des Senders vergrössert; andererseits diejenige der Entladungsart. Sobald der Flammenbogen einsetzt, fällt die mittlere Senderenergie sofort.

Mittels eines Differentialthermometers hat Herr MANDELSTAMM in meinem Institut die Schwingungszahlen electrischer Wellen untersucht. Die Methode gestattet dieselben in bequemer Weise und in wenig Minuten bis auf einige Procent genau zu ermitteln. Sie beruht darauf, dass der oscillirende Strom sich gabelt zwischen einer Selbstinduction und dem einen Thermometerdraht einerseits, einem inductionslosen (electrolytischen) Widerstand und dem zweiten Thermometerdraht andererseits; indem man die Wärmewirkungen in beiden Drähten gleich macht, sucht man einen OHM'schen Widerstand, welcher ebenso gross ist wie der scheinbare inductive, wodurch in bekannter Weise bei gegebener Selbstinduction sich die Schwingungszahl bestimmt.

Das Differentialthermometer ist von äusseren Einflüssen frei, und es lässt sich eine Nullmethode gewinnen, welche vor Allem noch dadurch sehr scharf wird, dass sie von dem Uebelstande anderer mit dem Quadrate der Stromstärke (i) oder electrischer Ladungen arbeitender Nullmethoden frei ist. Wollte man diese Methoden nämlich auf directes Nullmachen einer derartigen Wirkung hinausspielen, so würde bekanntlich diese selber als mit $(di)^2$ proportional zu gering, die Methode zu unempfindlich. Hier aber sind die Wirkungen je für sich sehr erheblich; ihre Differenz wird proportional mit $i\,di$ und lässt sich bei kleinem di durch Aenderung von i theoretisch beliebig weit treiben.

[9] (S. 44.) Es handelte sich bei den Cuxhavener Versuchen zunächst darum, die günstigsten Bedingungen für den Sender praktisch festzustellen und zwar nach einer doppelten Richtung: 1) den Resonanzbedingungen zwischen Schwingungskreis und Sender zu genügen; 2) die Anordnungen so zu treffen, dass die dem Schwingungskreis zugeführte Energie möglichst gross sei und in bester Weise zur Strahlung ausgenutzt werde; und 3) für beides sichere, praktisch brauchbare Methoden auszuarbeiten. Dies letztere ist namentlich durch Dr. ZENNECK's Arbeiten erreicht worden.

Gleichzeitig musste der Einfluss benachbarter grösserer Massen, seien es Mauerwerk, Metallverkleidungen, seien es Stahltrossen u. s. w., auf den Sender wie auf den Empfänger studirt werden.

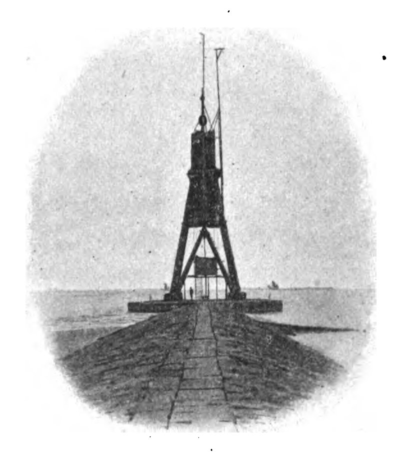
Im Empfangsapparat selber waren alle Bedingungen zu untersuchen, von denen die Sicherheit und Schärfe der Zeichengebung abhing; wie Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit des Cohärers, Rückwirkung der verschiedenen angehängten Apparate auf denselben. Der Wunsch, die störenden Inductionswirkungen derselben zu eliminiren, führten Herrn CANTOR zunächst auf einen electrochemisch wirkenden Schreibapparat, dann auf ein — mit electrocapillaren Kräften arbeitendes — inductionsfreies Relais und auf einen verbesserten Mikrophoncontact, welcher die Depeschen abzuhören gestattet und eine akustische Abstimmung ermöglicht.

Es wurden ferner von Dr. ZENNECK erfolgreich Versuche gemacht, die Senderwirkungen nur nach wesentlich einer Richtung hin gelangen zu lassen.

[10] (S. 49.) Nach inzwischen erfolgten Publicationen von MARCONI (engl. Patent 7777. 1900 und Specification aus Februar 1901) arbeitete er bei den S. 20 erwähnten Versuchen mit Masten von etwa 40 m Höhe. Er benutzt, wie sich aus seinen Mittheilungen ergiebt, für abgestimmte Telegraphie fast ausschliesslich die oben als Transformatorschaltung beschriebene Geberanordnung. Er erkennt deren ausschlaggebende Bedeutung vollkommen an (vgl. insbesondere seinen Aufsatz im Electrician 1901 Nr. 5 und 6). Wenn er aber sagt: The idea of using a Tesla coil to produce the oscillations is not new. It was tried by the Post Office officials, when experimenting with my system in 1898, and also suggested in a patent specification by Dr. LODGE, dated May 10, 1897 No. 11575, and by Prof. BRAUN in the specification of a Patent dated Jan. 26. 1899 Nr. 1862, so habe ich über die Art seiner eigenen Versuche mit Teslaerreger, da meines Wissens nichts darüber publicirt ist, kein Urtheil. Sollte der Teslakreis dabei ebenso benutzt worden sein, wie ihn LODGE in der von MARCONI citirten Schrift zu verwenden vorschlägt, so wäre dies etwas principiell vollkommen anderes als meine Anordnung. Denn LODGE sagt nur: „I supply the electricity to the radiator from a RUHMKORFF or a TESLA coil or a WIMSHURST or other known or suitable high tension machine." Der Teslakreis soll also dort nur als Electricitäts*quelle* dienen. Dass man damit, insbesondere wenn man

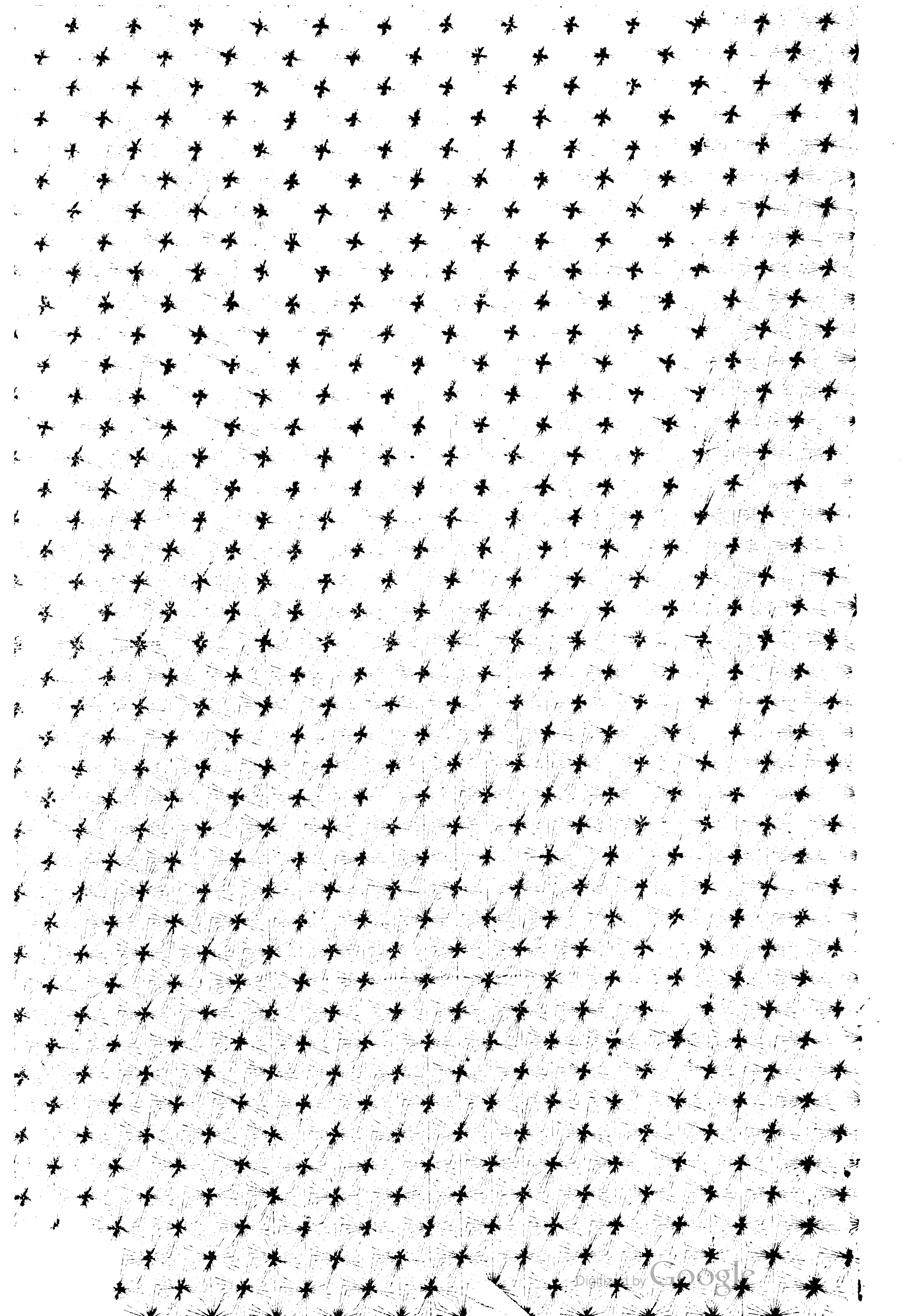
zunächst statische Ladungen hervorbringt, keine besseren Effecte erzielt, ist von vornherein klar, ebenso dass es sich um eine ganz andere Art der Wirkung handelt.

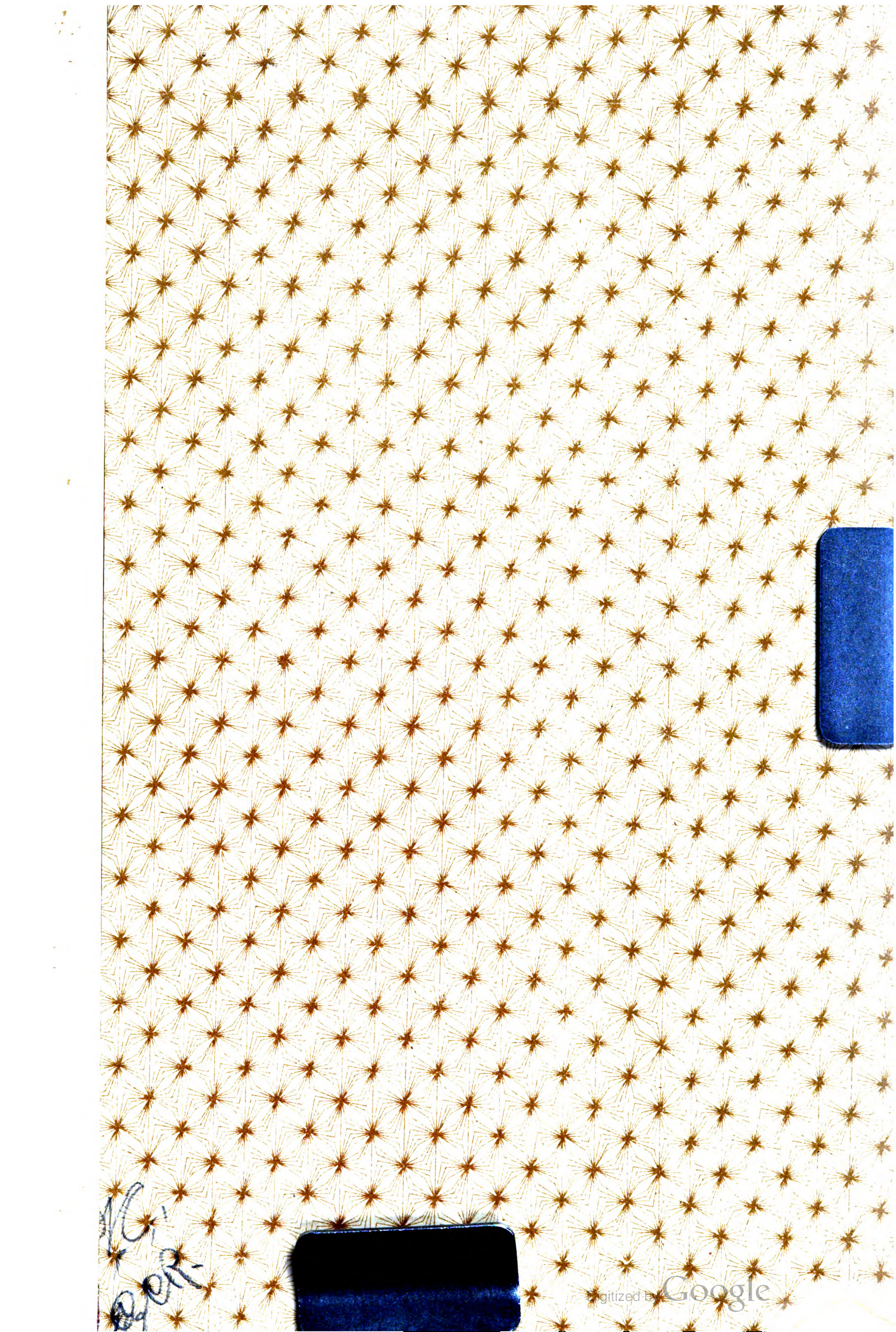
Die Einsicht, dass man nur unter Mitbenutzung von Condensatoren, welche als Energie-Reservoire dienen, gute Geberwirkungen erzielen könne, ist jetzt allgemein geworden. LODGE, welcher sie für drahtlose Telegraphie zuerst in diesem Sinne (vgl. oben), in einer als Laboratoriumsanordnung schon früher benutzten Weise vorschlug, hat aber eine Anordnung, bei welcher der Flaschenkreis nothwendiger Weise eine andere, langsamere Schwingung haben muss als der Sender. Das Gleiche gilt von SLABY's geerderter „Senderschleife", d. h. einem auf- und einem absteigenden geerdeten Draht, zwischen denen eine Drosselspule liegt, bei der offenbar, wie auch MARCONI durch Versuche (Electrician l. c.) festgestellt hat, der zur Erde rückkehrende Draht die Wirkungen verschlechtert und gleichzeitig eine beträchtliche Energievergeudung zur Folge hat. Er erhielt nach Weglassen des Erddrahtes und der Drosselspule 'an enormous strengthening of the signals at the receiver, wich obviously means a greater ease of working, and the possibility of obtaining signals over greater distances', d. h. eine enorme Verstärkung der Signale am Empfänger, nachdem er die SLABY'sche in meine oben beschriebene directe Schaltung verwandelt hatte.



Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.








UNIVERSITY OF CHICAGO
72 769 272